

LÄMPÖKESKUKSEN LÄMMITYSJÄRJESTELMÄN ERISTÄMISEN VAIKUTUS POLTTOAINEEN KULUTUKSEEN

Antti Kulha
Opinnäytetyö
Syksy 2010
Talotekniikan koulutusohjelma
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun seudun ammattikorkeakoulu
Talotekniikan koulutusohjelma, LVI-tekniikka

Tekijä: Antti Kulha

Opinnäytetyön nimi: Lämpökeskuksen lämmitysjärjestelmän eristämisen vaikutus polttoaineen kulutukseen

Työn ohjaaja: Veli-Matti Mäkelä

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: syksy 2010

Sivumäärä: 36 + 4 liitettä

Opinnäytetyössä tutkittiin eristämisen vaikutusta sikalan lämpökeskuksen lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöihin. Tavoitteena oli laskea, kuinka paljon järjestelmän eristäminen vähentäisi lämmittämiseen käytettävän polttoaineen kulutusta.

Säästön selvittämiseksi lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöt laskettiin vuoden ajalta. Häviöt laskettiin nykyisessä tilanteessa ja kuvitteellisessa tilanteessa, jossa järjestelmä olisi eristetty. Laskeminen tapahtui järjestelmän pintalämpötilojen avulla, jotka saatiin mittaamalla ja arvioimalla. Lisäksi työssä selvitettiin lämmityskattilan savukaasuhäviöt ja tehtiin polttoaineanalyysi, jotta voitiin laskea lämpöhäviöiden vaikutus polttoainetarpeeseen.

Eristämisen avulla saatavan polttoainesäästön laskettiin olevan 22 tonnia vuodessa. Tämä vastaa kuutta prosenttia nykyisestä vuotuisesta polttoaineen kulutuksesta. Tuloksen perusteella lämmitysjärjestelmän eristäminen olisi kannattavaa, etenkin kun se voidaan toteuttaa pienellä työmäärällä ja alhaisilla kustannuksilla.

Asiasanat:

Lämpöhäviö, lämpöhäviöteho, pintalämpötila, savukaasuhäviö, eristäminen

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

1 JOHDANTO.....	5
2 LÄHTÖTIEDOT	6
2.1 Lämpökeskus.....	6
2.2 Polttoaine	7
3 LÄMPÖHÄVIÖT	8
3.1 Lämmönsiirtyminen	8
3.2 Lämpöhäviöteho.....	9
4 POLTTOAINEMÄÄRÄN SELVITTÄMINEN	10
4.1 Lämpöhäviötehojen laskeminen.....	12
4.2 Eristeen pintalämpötila.....	16
4.3 Savukaasuhäviö.....	18
5 POLTTOAINESÄÄSTÖN LASKEMINEN.....	20
5.1 Lämpöhäviöt nykytilanteessa	20
5.1.1 Pintalämpötilat.....	21
5.1.2 Tulokset.....	22
5.2 Eristetyn järjestelmän lämpöhäviöt.....	24
5.2.1 Pintalämpötilat.....	26
5.2.2 Tulokset.....	27
5.3 Savukaasuhäviöt.....	29
5.4 Polttoainesäästö.....	30
6 TULOKSEN ARVIOINTI	32
7 POHDINTA.....	34
LÄHTEET	35
LIITTEET	36

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö liittyy erään sikalan lämpökeskukseen. Työ sai alkunsa siitä, kun mietittiin keinoja, joilla keskuksen lämmöntuotantoa voitaisiin tehostaa. Tavoitteena oli saada vähennettyä lämmitykseen käytettävän polttoaineen kulu- tusta. Jo alun alkaen tarkoituksena oli keskittyä parantamaan lämpökeskuksen sisällä olevaa lämmitysjärjestelmää ja nostaa tehokkuutta sitä kautta, eikä puut- tua niinkään keskuksen ulkopuolisiin tekijöihin.

Tässä työssä tarkastelun kohteeksi otettiin lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöt. Lämpökeskuksen sisällä on tavanomaista enemmän eristämätöntä pintaa, josta häviöitä pääsee syntymään. Työssä tutkitaan, kuinka paljon eristäminen vä- hentäisi järjestelmän lämpöhäviöitä, mikä taas laskisi polttoaineen kulutusta.

Työssä selvitetään lämmitysjärjestelmästä vuoden aikana syntyvän lämpöhä- viöenergian määrä. Häviö lasketaan aluksi nykyisessä tilanteessa ja sen jälkeen tilanteessa, jossa järjestelmä olisi eristetty. Laskeminen tapahtuu pintalämpöti- lojen avulla, jotka saadaan mittaamalla ja arvioimalla. Eristettyjen pintojen läm- pötilat täytyy sen sijaan laskea.

Polttoainesäästön laskemiseksi täytyy myös selvittää lämmityskattilan savukaa- suhäviöt. Savukaasun arvot mitataan ja niiden pohjalta lasketaan häviöt. Lisäksi polttoaineelle tehdään laboratorioanalyysi, jossa mitataan polttoaineen lämpö- arvo ja kosteusprosentti. Näitä arvoja tarvitaan laskettaessa savukaasuhäviötä ja muutettaessa säästyneen energian määrää polttoaineen massaksi.

Työssä arvioidaan myös eristämisestä syntyviä kustannuksia. Sen sijaan tar- kempia polttoainesäästön taloudellisia vaikutuksia ei tutkita. Työn päätarkoituk- sena on selvittää eristämisellä saatavan polttoainesäästön suuruus, jonka poh- jalta lämpöyrittäjä voi itse suunnitella toimintaansa.

2 LÄHTÖTIEDOT

Sikala sijaitsee Siikajoella, noin 50 kilometriä Oulusta etelään päin. Se on rakennettu vuonna 2001, ja se on nykyaikainen emakkosikala, jossa tuotetaan porsaita lihasikaloille. Sikalassa on 900 emakkoa, jotka tuottavat vuodessa 20 000 porsasta. Eläimet on sijoitettu kolmeen eri rakennukseen, joiden yhteenlaskettu pinta-ala on 7 400 m².

2.1 Lämpökeskus

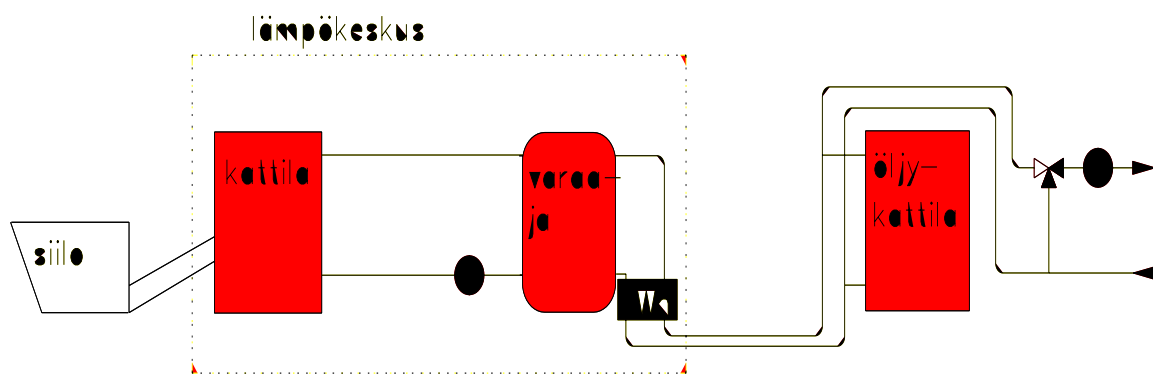
Lämpökeskuksen omistaa ja sen hoidosta vastaa yksityinen lämpöyrittäjä. Keskuksella tehdään sikalan lämmitykseen tarvittava energia. Lämmintä käyttövettä sikalassa kuluu vain työntekijöiden tarpeisiin, ja sen vuoksi se tehdään sähköllä.

Nykyinen lämpöyrittäjä on vastannut sikalan lämmityksestä vuodesta 2007 alkaen. Samalla kun yrittäjä osti toiminnan itselleen, hän rakensi myös uudet tilat lämpökeskukselle. Aikaisemmin keskus sijaitsi samalla paikalla, mutta se oli rakennettu maanpinnan alapuolelle. Nykyinen keskus on rakennettu betonipohjalle, ja sen seinät ja katto on rakennettu eriste-elementeistä. Elementtiin kuuluu 150 millimetrin paksuinen villaeriste, joka on päällystetty molemmilta puolilta pellillä.

Lämpökeskuksen lämmitysjärjestelmän kytkentää on havainnollistettu kuvassa 1. Lämmitykseen käytetään stokeripoltinta, johon kuuluvat polttoainevarasto, kuljetin ja kattila polttimineen. Polttoainevarasto sijaitsee keskuksen ulkopuolella, takaseinän vieressä. Sieltä polttoaine siirtyy automaattisesti ruuvikuljettimella kattilan polttimeen. Itse kattila on teholtaan 300 kilowattia ja tarkoitettu kiinteälle polttoaineelle. Se on noin kymmenen vuotta vanha. Kattila on kytketty puolen-toista kuutiometrin lämmitysvesivaraajaan, joka taas on yhdistetty sikalan lämmitysverkostoon lämmityskanaalilla. Varaajan ja verkoston väliin on asennettu energiamittari, jolla mitataan verkostoon menevän lämmitysenergian määrää.

Lämmitysjärjestelmään on lisäksi liitetty öljykattila, joka turvaa lämmitysveden riittävän korkean lämpötilan kovimmilla pakkasilla. Varaajalta verkostoon lähtevä vesi kulkee öljykattilan kautta, ja öljypoltin käynnistyy, mikäli tuleva vesi ei ole tarpeeksi lämmintä. Kattila on kuitenkin sijoitettu erilliseen tilaan, eikä siten kuulu varsinaiseen lämpökeskukseen. Se on liitetty varaajalta tulevan lämmityskanaalin päähän, joten sen tuottama energia ei vaikuta energiamittarin lukemaan.

Lämpökeskuksen sisällä oleva lämmöntuotantolaitteisto on suurimmaksi osaksi eristämätön. Kattilan ja varaajan sekä varaajan ja maan alle menevän lämpökanaalin väliset putket ovat kaikki eristämättömiä. Myös varaaja on kokonaan eristämätön. Laitteista ainoastaan tehdasvalmisteinen kattila on valmiiksi eristetty.



KUVA 1. Lämmitysjärjestelmän lämmöntuotantolaitteisto

2.2 Polttoaine

Lämpökeskuksessa käytetään polttoaineena puurouhetta, joka on huonekaluteollisuuden sivutuotetta. Rouheen partikkeleiden koko vaihtelee parista millimetristä yhteen senttimetriin. Ominaisuuksiensa puolesta rouhe soveltuu erittäin hyvin polttoaineeksi. Sen alemmaksi lämpöarvoksi mitattiin pommikalorimetrillä 18,72 MJ/kg. Kosteusprosentiksi mitattiin kosteusanalysaattorilla 8 %.

3 LÄMPÖHÄVIÖT

Lämpöhäviöllä tarkoitetaan lämpönä tapahtuvaa energiahäviötä lämmitysjärjestelmästä. Lämmitysjärjestelmään kuuluvat lämmöntuotanto-, lämmönjakelu- ja lämmönluovutuslaitteet. Häviöt aiheutuvat järjestelmässä olevista lämpimistä pinnoista, joista lämpö pääsee siirtymään ympäröivään tilaan. Lämpöhäviöitä syntyy lämmön kehityksen, varastoinnin, siirron ja luovuttamisen aikana (D5 2007, 28).

Häviöt vähentävät lämmitettäviin tiloihin saatavan lämmitysenergian määrää, koska osa energiasta häviää matkalla. Sen vuoksi lämmitysenergiaa täytyy tuottaa enemmän, jotta haluttu lämpöenergian tarve saavutettaisiin. Tämän seurauksena myös lämmitykseen käytettävän polttoaineen kulutus kasvaa.

Kaikki lämpönä häviävä energia ei kuitenkaan mene välttämättä hukkaan. Esimerkiksi sisätiloissa kulkevien lämmitysputkien häviöt tulevat käytettyä hyödyksi rakennuksen lämmityksessä. Kattilahuoneessa syntyvät häviöt taas lämmittävät kattilan käyttämää palamisilmaa, mikäli palamisilma otetaan huonetilasta (Wahlroos 1979, 298).

Yleensä lämmitysjärjestelmät on eristetty niin hyvin, ettei lämpöhäviöistä muodostu kovinkaan suuria. Tässä lämpökeskuksessa on kuitenkin paljon kuumia, eristämättömiä pintoja putkistossa ja varaajassa, joista lämpö pääsee karkaamaan.

3.1 Lämmönsiirtyminen

Lämpö voi siirtyä kolmella eri tavalla, joita ovat johtuminen, säteileminen ja konvektio, eli kuljetus. Pintojen kautta lämpöä siirtyy ympäröivään ilmaan säteilemällä ja konvektiolla. Pinta lähettää säteilyä pelkästään lämpötilansa perusteella ympäristön tilasta riippumatta. Osuessaan johonkin toiseen kappaleeseen säteily muuttuu taas uudestaan lämmöksi. Säteily on sitä voimakkaampaa, mitä

korkeampi on säteilevän pinnan lämpötila. Konvektio on lämmön siirtymistä kuljettamalla ilman virtauksen mukana, mikä on mahdollista, kun pinnan ja sitä koskettavan ilman välillä on lämpötilaero. Konvektion voimakkuus riippuu pinnan ja ilman välisestä lämpötilaerosta. (Seppänen 2001, 66.)

3.2 Lämpöhäviöteho

Lämpöhäviöteho ilmaisee, kuinka voimakkaasti kappale luovuttaa lämpöä. Sen yksikkönä käytetään wattia. Kappaleen lämpöhäviöteho on sitä suurempi, mitä kuumempi kappale on. Ilman ympäröimälle kappaleelle saadaan teho laskettua säteilyn ja konvektion avulla. Teho lasketaan kappaleen pintalämpötilan perusteella. Vuotuinen lämpöhäviöenergia eli lämpöhäviö saadaan selville, kun kerrotaan kappaleen lämpöhäviöteho vuoden tunneilla.

4 POLTTOAINEMÄÄRÄN SELVITTÄMINEN

Lämpökeskuksen sisällä tapahtuva lämmitysveden tuotannon prosessi on esitetty kuvassa 2. Kuvaan on merkitty tuotannon eri vaiheet pelkistettynä alkaen polttoainevarastosta ja päättyen energiamittariin. Mallin avulla saadaan selvitettyä keskuksen vuodessa kuluttaman polttoaineen määrä, kun tunnetaan siinä esiintyvät muut tekijät. Lämmöntuotannon kulku on esitetty kuvassa käänteisessä järjestyksessä siihen nähden, miten se todellisuudessa etenee. Tämä johtuu siitä, että polttoainemäärää selvitettäessä täytyy laskeminen aloittaa ketjun huipulta, eli myynnistä.

Kuvassa myynti tarkoittaa sitä energiamäärää, joka vuodessa otetaan varajasta lämmitysverkostoon ja käytetään sikalan lämmittämiseen. Tässä tapauksessa käytetään nimenomaan sanaa myynti, koska lämpöyrittäjä myy sen veran energiaa sikalan lämmittämiseksi. Tämän energiamäärän näkee lämpökeskuksen seinälle asennetusta energiamittarista.

$$\begin{array}{rcl} & \boxed{\text{myynti}} & \\ & + & \boxed{\text{lämpöhäviöt}} \\ = & \boxed{\text{kattilan tuotanto}} & \\ & + & \boxed{\text{savukaasuhäviöt}} \\ = & \boxed{\text{polttoainetarve}} & \end{array}$$

KUVA 2. Lämmöntuotannon prosessi

Seuraavana kohtana kuvassa ovat lämpöhäviöt, joilla tarkoitetaan vuoden aikana syntyviä lämpöhäviöitä kattilasta, putkistosta ja varaajasta. Lämmitysjärjestelmästä menee vuodessa häviöiden verran energiaa hukkaan, mutta toisaalta tämän hukkalämmön avulla lämpökeskus pysyy nykyisellään talven aikana lämpimänä.

Kattilan vuosittainen tuotanto saadaan selville, kun lisätään myytyyn energiämäärään häviöt. Tuotanto on se energiamäärä, joka kattilan sisällä poltettavasta polttoaineesta siirtyy kattilaveteen. Kiertovesipumpun avulla tämä energia siirretään kattilasta varaajaan ja siitä edelleen myyntiin. Osa energiasta häviää matkalla kattilan, putkiston ja varaajan kautta lämpökeskuksen sisäilmaan, kuten edellä todettiin. Pieni osa polttoaineen energiasta siirtyy myös suoraan kattilan seiniin ja sitä kautta sisäilmaan lämmittämättä kattilavettä.

Kaikki polttoaineen sisältämä energia ei kuitenkaan päädy palaessa kattilaveteen tai siirry kattilan rakenteisiin. Merkittävä osa energiasta menee hukkaan savupiipun kautta palamiskaasujen mukana, eli savukaasuhäviöinä. Nämä häviöt muodostuvat savukaasun mukana ulos menevästä lämmöstä ja palamatta jääneistä yhdisteistä. Edellä olevasta käytetään myös nimitystä vapaat häviöt ja jälkimmäisestä nimitystä sidotut häviöt.

Muita kattilassa syntyviä häviöitä ovat tuhka- ja seisontahäviöt. Poistettaessa kuumaa tuhkaa kattilasta, menee sen mukana myös lämpöenergiaa. Tämä häviö on normaalisti niin pieni, ettei sitä tarvitse ottaa huomioon. Kattilan seisontahäviöllä tarkoitetaan polttimeen seistessä kattilan läpi virtaavan ilman aiheuttavaa häviötä (Wahlroos 1979, 298). Seisontahäviön mittaaminen on kuitenkin hankalaa, ja toisaalta sen merkitys savukaasuhäviöihin verrattuna on vähäinen. Tämän vuoksi myös ne voidaan jättää huomioimatta.

Kattilan vaatima polttoaineen määrä saadaan selville, kun kattilan tuotantomäärään lisätään savukaasuhäviöt. Tällä polttoainemäärällä saadaan siis tuotettua myyntiin tarvittava energia.

Kuvasta nähdään selvästi se, kuinka lämpöhäviöt vaikuttavat lämmityksessä tarvittavan polttoaineen määrään. Häviöiden pienentyessä laskee myös polttoaineen kulutus. Mallin avulla saadaan laskettua, kuinka paljon lämmitysjärjestelmän eristämällä voidaan pienentää kulutusta. Säästön laskemiseksi täytyy selvittää, mitä häviöt ovat nykytilanteessa ja mitä ne ovat eristyksen jälkeen. Säästö ei kuitenkaan ole suoraan näiden kahden tuloksen erotus, sillä kummastakin lukemasta täytyy vähentää savukaasuhäviöiden osuus.

4.1 Lämpöhäviötehojen laskeminen

Jotta lämmitysjärjestelmän vuotuiset lämpöhäviöt voidaan laskea, täytyy ensin laskea järjestelmän eri osien lämpöhäviötehot. Tehojen laskemisessa on pieniä eroja kattilan, varaajan ja putkiston välillä niiden keskenään erilaisten muotojen vuoksi. Lämpöhäviöteho yleisesti pinnalle lasketaan kaavalla (1).

$$\dot{Q} = (q_k + q_s) \cdot A \quad (1)$$

missä

q_k on konvektion lämpövirran tiheys,

q_s säteilyn lämpövirran tiheys ja

A pinnan ala

Kappaleen ulkopinnasta konvektiona ympäristöön siirtyvä lämpövirran tiheys lasketaan kaavalla (2). Kaavassa esiintyvä konvektion lämmönsiirtymiskerroin täytyy selvittää erikseen kattilalle, putkistolle ja varaajalle.

$$q_k = \alpha_k \cdot (T_p - T_y) \quad (2)$$

missä

α_k on konvektion lämmönsiirtymiskerroin

T_p kappaleen pintalämpötila ja

T_y ympäristön lämpötila

Kappaleen ulkopinnasta säteilyä ympäristöön siirtyvä lämpövirran tiheys lasketaan kaavalla (3).

$$q_s = \varepsilon \cdot \sigma \cdot (T_p^4 - T_y^4) \quad (3)$$

missä

ε on putken ulkopinnan emissiviteetti ja

σ Stefan-Boltzmannin vakio

Vaakasuoralle putkelle konvektion lämmönsiirtymiskerroin saadaan kaavasta (4).

$$\alpha_k = 5,0 \cdot \sqrt[4]{\frac{T_p - T_y}{T_y \cdot d_u}} \quad (4)$$

missä

d_u on putken ulkohalkaisija.

Kattilan kannen konvektion lämmönsiirtymiskerroin lasketaan kaavalla (5).

$$\alpha_k = \frac{Nu \cdot \lambda}{l} \quad (5)$$

missä

Nu on Nusseltin luku,

λ ilman lämmönjohtavuus ja

l karakteristinen mitta

Ilman aineominaisuuksia selvitetessä käytetään ilman keskimääräistä lämpötilaa, koska kyseessä on konvektio vaakasuorasta pinnasta. Ilman keskimääräinen lämpötila saadaan kaavasta (6).

$$T = \frac{t_p + t_y}{2} \quad (6)$$

Karakteristinen mitta saadaan kaavasta (7).

$$l = \frac{A}{p} \quad (7)$$

missä

A on kannen pinta-ala ja

p kannen piiri

Kattilan kannesta lämpö siirtyy vapaalla konvektiolla sen yläpuolella olevaan ilmaan. Tällöin Nusseltin luku saadaan kaavasta (8), mikäli Grashofin ja Prandtin luvun tulo saa arvon $10^5 \dots 10^9$. Prandtin luku ilmalle on 0,71.

$$Nu = 0,27 \cdot (Gr \cdot Pr)^{0,25} \quad (8)$$

missä

Gr on Grashofin luku ja

Pr Prandtlin luku

Grashofin luku saadaan kaavasta (9).

$$Gr = \frac{g \cdot \beta \cdot l^3 \cdot (T_p - T_y)}{\nu} \quad (9)$$

missä

g on gravitaatiokiihtyvyys,

β lämpölaajenemiskerroin ja

ν kinemaattinen viskositeetti

Lämpölaajenemiskerroin saadaan kaavasta (10).

$$\beta = \frac{1}{T} \quad (10)$$

Kattilan seinien konvektion lämmönsiirtokerroin lasketaan samalla periaatteella kuin kannen. Karakterisena mittana käytetään kuitenkin suoraan seinän korkeutta. Ilman aineominaisuuksia selvitetessä käytetään lämpötilana ympäristön lämpötilaa, koska kyseessä on konvektio pystysuorasta pinnasta. Nusseltin luku saadaan kaavasta (11), mikäli Grashofin ja Prandtlin luvun tulo saa arvon $10^4 \dots 10^9$ (Lampinen 2002, 79).

$$Nu = 0,59 \cdot (Gr \cdot Pr)^{0,25} \quad (11)$$

Mikäli Grashofin ja Prandtlin luvun tulo on suurempi kuin 10^9 , saadaan Nusseltin luku kaavasta (12) (Lampinen 2002, 79).

$$Nu = 0,10 \cdot (Gr \cdot Pr)^{1/3} \quad (12)$$

Kattilan poltin on muodoltaan vaakatasossa oleva sylinteri. Sen konvektion lämmönsiirtymiskerroin lasketaan samalla tavalla, kuin vaakatasossa olevan putken. Polttimeen pääty taas on pystysuora pinta, joten sen lämmönsiirtokerroin lasketaan kuten kattilan seinien kohdalla.

Varaaja on pystysuoran sylinterin muotoinen. Varaajan yläosan lämmönsiirtokerroin saadaan määritettyä samalla tavalla, kuin kattilan yläosan kohdalla. Varaajan seinien lämmönsiirtokerroin lasketaan kaavalla (13) (Seppänen 2001, 64).

$$\alpha_k = 2,2 \cdot (T_p - T_y)^{0,25} \quad (13)$$

4.2 Eristeen pintalämpötila

Eristetyn lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöt lasketaan uusien pintalämpötilojen perusteella. Eristämisen jälkeen putkiston ja varaajan pintalämpötilat ovat huomattavasti matalammat, kuin nykyisessä tilanteessa. Uudet pintalämpötilat täytyy laskea suunnitellun eristekerroksen perusteella. Eristeen pintalämpötila saadaan kaavasta (14).

$$T_p = T_y + \frac{\dot{Q}}{\pi \cdot d_u \cdot \alpha_u} \quad (14)$$

missä

\dot{Q} on lämpövirta pituusyksikköä kohden ja
 α_u ulkopuolinen kokonaislämmönsiirtymiskerroin

Ulkopuolinen kokonaislämmönsiirtymiskerroin lasketaan kaavalla (15).

$$\alpha_u = \alpha_k + \alpha_s \quad (15)$$

missä

α_s on säteilyn lämmönsiirtymiskerroin

Säteilyn lämmönsiirtymiskerroin saadaan kaavasta (16) (Lampinen 2002, 6).

$$\alpha_s = \varepsilon \cdot \sigma \cdot (T_p^2 + T_y^2) \cdot (T_p + T_y) \quad (16)$$

Lämpövirta pituusyksikköä kohden saadaan kaavasta (17).

$$\dot{Q} = \frac{T_s - T_y}{R} \quad (17)$$

missä

T_s putken sisällä virtaavan veden lämpötila ja

R eristetyn putken lämmönvastus

Eristetyn putken lämmönvastus saadaan kaavasta (18).

$$R = \frac{1}{\pi \cdot d_1 \cdot \alpha_s} + \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_1} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_2} \ln \frac{d_3}{d_2} + \frac{1}{\pi \cdot d_3 \cdot \alpha_u} \quad (18)$$

missä

d_1 on putken sisähalkaisija,

α_s putken sisäpuolinen lämmönsiirtymiskerroin,

λ_1 putken lämmönjohtavuus,

d_2 putken ulkohalkaisija,

λ_2 eristeen lämmönjohtavuus ja

d_3 eristeen ulkohalkaisija

Sisäpuolisen lämmönsiirtymiskertoimen vaikutus lämmönläpäisykertoimeen on pieni. Putken seinämävahvuus on myös pieni ja sen lämmönjohtavuus suuri eristeeseen verrattuna. Tämän vuoksi kaavan kaksi ensimmäistä termiä on käytännössä merkityksettömiä laskettaessa kokonaislämmönvastusta. Eristetyn putken lämmönvastus saadaan siis kaavasta (19). (Seppänen 2001, 211.)

$$R = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_2} \ln \frac{d_3}{d_2} + \frac{1}{\pi \cdot d_3 \cdot \alpha_u} \quad (19)$$

4.3 Savukaasuhäviö

Vapaan lämmön muodossa tapahtuvat savukaasuhäviöt lasketaan kaavalla (20) (Vuorelainen 1978, 66).

$$q_n = K_1 \cdot \frac{t_s - t_y}{H_a(CO_2 + CO)} \quad (20)$$

missä

K_1 on kerroin, joka saadaan liitteenä 4 olevasta diagrammista,

t_s savukaasujen lämpötila,

H_a polttoaineen alempi lämpöarvo,

CO₂ savukaasujen hiilidioksidipitoisuus ja

CO savukaasujen hiilimonoksidipitoisuus

Palamattomien kaasujen muodossa tapahtuvat häviöt lasketaan kaavalla (21)
(Vuorelainen 1978, 69).

$$q_p = K_2 \cdot \frac{30,2 \text{ CO}}{\text{CO}_2 + 0,994 \text{ CO}} \quad (21)$$

missä

K_2 on kerroin, joka saadaan liitteenä 4 olevasta diagrammista

5 POLTTOAINESÄÄSTÖN LASKEMINEN

5.1 Lämpöhäviöt nykytilanteessa

Häviöt lasketaan kertomalla lämmitysjärjestelmän lämpöhäviötehot keskuksen vuoden aikana kertyneillä käyttötunneilla. Laskemista varten tulee tietää, montako tuntia vuodessa keskuksella tuotetaan lämmitysenergiaa. Yleensä rakennuksia ei tarvitse lämmittää kesäaikana, mutta sikalassa tilanne on toinen, sillä siellä lattia on pidettävä eläinten takia lämpimänä myös kesällä. Tässä tapauksessa lämmityskausi on siis koko vuosi.

Häviöiden laskemista varten vuosi on jaettu neljään eri jaksoon ulkolämpötilojen mukaan. Jaottelu on esitetty taulukossa 1. Jaottelu on tehty sen vuoksi, että lämmitysjärjestelmän lämpöhäviötehot vaihtelevat vuoden eri aikoina. Lämmitysjärjestelmälle lasketaan neljä eri lämpöhäviötehoa, joista jokainen kerrotaan jaksoa vastaavalla tuntimäärällä. Vuotuiset lämpöhäviöt saadaan, kun lasketaan jaksojen lämpöhäviöt yhteen.

Tehojen vaihtelu on seurausta siitä, etteivät keskuksen sisälämpötila ja lämmitysjärjestelmän pintalämpötilat pysy vakiona ympäri vuoden. Putkiston ja varaajan lämpötilat muuttuvat, kun kattilatermostaattia säädetään lämmityskauden aikana. Normaalisti kattilatermostaatti pidetään +80 °C:ssa, mutta kovimpien pakkasten aikana se säädetään +100 °C:seen. Kesäaikana se taas pudotetaan +60 °C:seen. Keskuksen sisälämpötilaan vaikuttaa järjestelmän lämpöhäviöt. Nykyisellään keskus pysyy niiden avulla talviaikana lämpimänä. Kovimman lämmityskauden ulkopuolella sisälämpötila kasvaa nopeasti, koska putkiston ja varaajan lämpötila pysyy melko muuttumattomana, vaikka ulkolämpötila nousee voimakkaasti.

Jaksot on jaoteltu ulkolämpötilan mukaan. Sisälämpötilan on ajateltu pysyvän suurin piirtein samassa lukemassa tiettyä ulkolämpötilan jaksoa vastaavana aikana. Sisälämpötila on mitattu kolme kertaa ja mittaukset on suoritettu eri ai-

kaan lämmityskaudesta. Ensimmäisellä kerralla sisälämpötila oli +10 °C ulkolämpötilan ollessa –20 °C, toisella kerralla +15 °C ulkolämpötilassa 0 °C ja kolmannella kerralla +36 °C ulkolämpötilassa +20 °C.

5.1.1 Pintalämpötilat

Pintalämpötilat on saatu sekä mittaamalla että arvioimalla. Suurin osa talviajan lämpötiloista on jouduttu arvioimaan, koska niitä ei ole ollut mahdollista mitata oikeissa olosuhteissa, sillä tämän työn aloittamisen jälkeen kunnon pakkaset olivat jo ohitse. Kattila on eristetty, joten sen pintalämpötila pysyy koko lämmityskauden ajan melko vakiona, eikä esimerkiksi termostaatin säätäminen juuri-kaan vaikuta siihen.

Mittaamalla saadut pintalämpötilat näkyvät taulukossa 1 ulkolämpötilan kohdalla –10 °C...+10 °C. Ne ovat keskiarvoja, jotka on laskettu mittauksen perusteella. Mittaustulokset ovat liitteenä 2. Mittaukset suoritettiin huhtikuussa kahtena peräkkäisenä päivänä. Niiden aikana ulkolämpötila oli –5 °C. Ensimmäisenä päivänä lämpötilat mitattiin kerran ja toisena päivänä kaksi kertaa noin tunnin välein. Mittaukset suoritettiin useasta kohtaa kappaletta ja niiden perusteella laskettiin keskiarvo. Putkista lämpötilat mitattiin alkupäästä, keskeltä ja loppupäästä. Varaajan kyljestä lämpötilat mitattiin kolmenkymmenen sentin välein. Kattilan lämpötilat mitattiin vähintään kolmesta kohtaa jokaiselta sivulta. Muut taulukossa 1 olevat lämpötilat on saatu arvioimalla.

TAULUKKO 1. Eristämättömän lämmitysjärjestelmän pintalämpötilat

t_{ulko} [°C]	$t_{\text{sisä}}$	kattila, meno [°C]	kattila, paluu	varaaja, meno	varaaja, paluu	kattila2, haara	varaaja
< -25	10	98	75	83	36	75	75
-25...-10	10	79	73	78	36	72	79
-10...+10	17	79	73	78	36	72	79
> +10	33	70	65	70	30	70	65

5.1.2 Tulokset

Taulukossa 2 on esitetty lasketut lämpöhäviötehot, kun ulkolämpötila on alle -25 °C. Tällöin kattilatermostaatti on käännetty asentoon +100 °C. Lämpöhäviötehojen laskut on esitetty liitteessä 1.

TAULUKKO 2. Lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöteho ulkolämpötilassa alle –25 °C

osa	lämpöhäviöteho [W]
kattila	3000
putkisto	6198
varaaja	5717
yhteensä	14 915

Jakson aikana syntyvien lämpöhäviöiden laskemiseksi tulee tietää, montako tuntia vuodessa ulkolämpötila on alle -25 C. Rakentamismääräyskokoelman osassa D5 on esitetty ulkoilman lämpötilojen vuotuiset esiintymistiheydet. Lämpökeskus sijaitsee säävyöhykkeellä kolme. Sen mukaan lämpötila on vuodessa 106 tuntia alle tämän rajan. Kyseisenä aikana lämpöhäviö on

$$\emptyset = 14,915 \text{ kW} \cdot 106 \text{ h} = 1580,990 \text{ kWh.}$$

Taulukossa 3 on esitetty lämpöhäviötehot, kun ulkolämpötila on välillä –25...–10 °C. Kattilatermostaatti on käännetty asentoon +80 °C. Lämpöhäviötehojen laskut on esitetty liitteessä 1.

TAULUKKO 3. Lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöteho ulkolämpötilassa –25 °C...–10 °C

osa	lämpöhäviöteho [W]
kattila	3000
putkisto	5174
varaaja	6183
yhteensä	14 357

D5 mukaan ulkoilman lämpötila on vuodessa 941 h ajan välillä –25...–10 °C. Lämpöhäviö on tällöin

$$\emptyset = 14,357 \text{ kW} \cdot 941 \text{ h} = 13\,509,940 \text{ kWh.}$$

Taulukossa 4 on esitetty lämpöhäviötehot, kun ulkolämpötila on välillä –10...+10 °C. Kattilatermostaatti on edelleen asennossa +80 °C. Lämpöhäviötehojen laskut on esitetty liitteessä 1.

TAULUKKO 4. Lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöteho ulkolämpötilassa –10...+10 °C

osa	lämpöhäviöteho [W]
kattila	2400
putkisto	4604
varaaja	5590
yhteensä	12 594

D5 mukaan ulkoilman lämpötila on vuodessa 5162 tunnin ajan välillä –10...+10 °C. Lämpöhäviö on tällöin

$$\emptyset = 12,594 \text{ kW} \cdot 5162 \text{ h} = 65\,010,230 \text{ kWh.}$$

Taulukossa 5 on esitetty lämpöhäviötehot, kun ulkolämpötila on yli +10 °C. Kattilatermostaatti on asennossa +60 °C. Lämpöhäviötehojen laskut löytyvät liitteestä 1.

TAULUKKO 5. Lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöteho ulkolämpötilassa yli +10 °C

osa	lämpöhäviöteho [W]
kattila	0
poltin	252
putkisto	2553
varaaja	2702
yhteensä	5 507

D5 mukaan ulkolämpötila on vuodessa 2551 tunnin ajan yli +10 °C. Lämpöhäviö on tällöin

$$\emptyset = 5,507 \text{ kW} \cdot 2551 \text{ h} = 14\,048,36 \text{ kWh}.$$

Vuodessa lämmitysjärjestelmästä syntyy lämpöhäviöitä yhteensä

$$\emptyset = 1580,990 \text{ kWh} + 13\,509,940 + 65\,010,230 \text{ kWh} + 14\,048,360 \text{ kWh} = 94\,149,520 \text{ kWh} = 94,150 \text{ MWh}.$$

5.2 Eristetyn järjestelmän lämpöhäviöt

Putket eristetään eristekouruilla, joiden materiaalina on lasivilla. Eristepaksuutena on laskuissa käytetty 40 millimetriä. Eristeen päälle tulee ohut muovipäällyste. Varaaja eristetään kauttaaltaan lasivillamatolla, joka on valmiiksi päällystetty.

tetty alumiinilaminaatilla. Mattoa laitetaan yksi kerros, jolloin eristepaksuus on 80 millimetriä.

Eristämisen jälkeen lämpöhäviöt pienenevät, mikä vaikuttaa lämpökeskuksen sisälämpötilaan. Talvella putkiston ja varaajan lämmittävä vaikutus ei olisi enää niin suuri kuin ennen. Sisälämpötila laskisi miinuksen puolelle, ja vaarana olisi keskuksen sisällä olevien kylmävesiputkien jäätyminen. Tällöin esimerkiksi ruuvikuljettimen takapalon sammutin ei enää toimisi.

Keskus olisi pidettävä sisältä lämpimänä jollain muulla tavoin, esimerkiksi asentamalla seinille riittävä määrä vesipattereita. Yksi vaihtoehto on myös jättää osa putkistosta eristämättä ja parantaa keskuksen rakenteen eristävyyttä.

Keskuksen sisällä on tätä nykyä toinen, käyttämätön kattila, jonka paluuputki on yhdistetty varaajaan. Niiden välissä on venttiili, joka on suljettu, mutta kuuma vesi pääsee tulemaan varaajalta putkessa venttiilille asti. Putken kuuma osa on puolitoista metriä pitkä, joten ainakin sitä voisi käyttää sisätilan lämmittämiseen. Putki on jo valmiiksi jätetty eristämättä, kun on laskettu uusia lämpöhäviöitä eristetylle järjestelmälle. Myös käytössä olevan kattilan paluuputki voisi olla eristämätön.

Lämpökeskuksen seinissä on muutamia kohtia, joita korjaamalla voisi pienentää itse rakennuksen lämpöhäviöitä. Nykyisellään keskuksen kahdessa kulmassa, seinän ja katon rajassa, on pienet aukot, joista lämpö pääsee karkaamaan. Lisäksi savupiipun ja ruuvikuljettimen läpimenokohtaa seinässä voisi tiivistää.

Lämpöhäviötehojen laskemista varten sisälämpötilat vuoden eri aikoina on jouduttu arvioimaan. Lämpötiloja arvioitaessa lähtökohtana on ollut, että sisälämpötila pysyy kovimmilla pakkasilla noin +10 °C:ssa, joka saavutetaan tarvittavilla toimenpiteillä. Lämpötilat on esitetty taulukossa 6.

5.2.1 Pintalämpötilat

Uusien lämpöhäviötehojen laskemiseksi täytyy selvittää eristettyjen pintojen lämpötilat. Pintalämpötilaa laskettaessa täytyy ensin arvata, mitä lämpötila voisi olla, koska kaavassa 18 kysytään nimenomaan eristetyn pinnan lämpötilaa. Lasketaan esimerkkinä pintalämpötila putkelle, jonka sisällä virtaa +79 °C vesi. Keskukseen sisälämpötila on +10 °C. Arvioidaan pintalämpötilan olevan hieman korkeampi kuin putkea ympäröivän ilman lämpötila. Oletetaan sen olevan +20 °C. Säteilyn lämmönsiirtokertoimeksi saadaan

$$\alpha_s = 1,0 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} (293,15^2 + 283,15^2) (293,15 + 283,15) = 5,4 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Konvektion lämmönsiirtokertoimeksi saadaan

$$\alpha_k = 5,0 \cdot \sqrt[4]{\frac{(20 - 10)K}{283,15 \text{ K} \cdot 0,1561\text{m}}} = 3,4 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Ulkopuolinen lämmönsiirtokerroin on

$$\alpha_u = (5,4 + 3,4) \text{ W/m}^2 \text{ K} = 8,8 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

Eristetyn putken lämmönvastus on

$$R = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 0,035 \text{ W/mK}} \ln \frac{0,1561\text{m}}{0,0761\text{m}} + \frac{1}{\pi \cdot 0,1561\text{m} \cdot 8,8 \text{ W/m}^2\text{K}} = 3,5 \text{ mK/W}$$

Lämpövirraksi saadaan

$$\dot{Q} = \frac{(79 - 10)K}{3,5 \text{ mK/W}} = 19,7 \text{ W/mK}$$

Pintalämpötilaksi saadaan

$$T_p = 10 \text{ K} + \frac{19,7 \text{ W/mK}}{\pi \cdot 0,1561 \text{ m} \cdot 8,8 \text{ W/m}^2\text{K}} = 15 \text{ K}$$

Arvauksella +20 °C pintalämpötilaksi saadaan +15 °C. Lasketaan uudestaan käyttämällä lämpötilana +15 °C. Tällöin saadaan myös tulokseksi +15 °C.

Kovimmilla pakkasilla kattilatermostaatti on säädetty +100 °C:seen ja tällöin kattilan menoputkessa virtaava vesi on myös noin sata-asteista. Lasketaan eristeen pintalämpötila tässä tilanteessa olettaen, että se on hiukan korkeampi kuin +15 °C. Kun käytetään lämpötilana +18 °C saadaan laskemalla tulokseksi +16 °C. Tarkistuslaskenta +16 °C:lla antaa tulokseksi +16 °C. Eristetyn putken pintalämpötila ei siis juurikaan muutu vaikka veden lämpötila nousee kaksikymmentä astetta. Laskettaessa eristetyn putkiston lämpöhäviöitä, käytetään putkiston pintalämpötilana +15 °C.

Varaajan pintalämpötila lasketaan samalla periaatteella. Oletetaan pinnan lämpötilaksi +15 °C ja varaajan sisällä olevan veden keskimääräiseksi lämpötilaksi +79 °C. Laskemalla saadaan tulokseksi +18 °C. Tarkistetaan laskemalla +18 °C:lla. Tulokseksi saadaan sama +18 °C, eli sitä voidaan käyttää varaajan pintalämpötilana laskettaessa lämpöhäviöitä.

5.2.2 Tulokset

Eristetyn lämmitysjärjestelmän lämpöhäviötehot on esitetty taulukossa 6. Lämpöhäviötehojen laskut on esitetty liitteessä 1. Häviöiden laskemista varten vuosi on jaettu kolmeen osaan ulkoilman lämpötilan mukaan. Jaottelu on tehty siten, että alle –5 °C:ssa sisälämpötila on arvioitu olevan noin +10 °C. Kun ulkolämpötila on –5 °C, alkaa sisälämpötila olla +15 °C. Tällöin eristetystä putkesta ei tule häviöitä, koska lämpötilaeroa ilman ja putken pinnan välillä ei ole. Varaajan lämpöhäviöteho tässä tilanteessa on myöskin niin pieni, ettei sitä huomioida.

Sisälämpötila pysyttelee +15 °C:ssa siihen saakka, kunnes ulkolämpötila vaihtuu +5 °C:seen. Tämän jälkeen sisälämpötila on +20 °C. Ulkolämpötilan edelleen noustessa lähestyy sisälämpötila +30 °C:a. Silloin häviöitä syntyy käytännössä enää käyttämättömälle kattilalle menevästä putkesta, joka on eristämätön ja polttimeen kuumasta päädyistä.

Lämpötilat eivät tietenkään muutu hyppäämällä, eli ulkolämpötilan vaihtuessa neljästä pakkasasteesta viiteen, ei sisälämpötila vaihdu suoraan kymmenestä viiteentoista. Tässä on ajateltu, että kovemmillä pakkasilla sisälämpötila saattaa olla matalampi kuin +10 C, jolloin lämpöhäviöt ovat suuremmat. Vastaavasti lämpöhäviöt pienenevät sisälämpötilan lähestyessä +15 C:a.

TAULUKKO 6. Eristetyn lämmitysjärjestelmän lämpöhäviötehot

t_{ulko} [°C]	$t_{\text{sisä}}$	eristetty putkisto [W]	kattila2, haara	varaaja	kattila	yhteensä
≤ -5	10	471	310	244	3000	4025
-5...+5	15	0	274	0	2000	2274
> +5	20...30	0	179	0	252	431

Vuodessa syntyvät lämpöhäviöt lasketaan kertomalla jakson lämpöhäviöteho sitä vastaavalla tuntimäärällä. D5 mukaan ulkoilman lämpötila on vuodessa 1743 tuntia alle –5 °C. Lämpöhäviöt ovat tällöin

$$\emptyset = 4,025 \text{ kW} \cdot 1743 \text{ h} = 7015,575 \text{ kWh}.$$

Ulkolämpötila on välillä –5 C...+5 C vuodessa 3460 tuntia. Lämpöhäviöt ovat

$$\emptyset = 2,674 \text{ kW} \cdot 3460 \text{ h} = 9252,040 \text{ kWh}.$$

Ulkolämpötila on yli +5 °C vuodessa 3557 tuntia. Lämpöhäviöt ovat

$$\emptyset = 0,431 \text{ kW} \cdot 3557 \text{ h} = 1533,067 \text{ kWh}$$

Lämpöhäviöt vuodessa ovat yhteensä

$$\varnothing = 7015,575 \text{ kWh} + 9\,252,040 \text{ kWh} + 1\,533,067 \text{ kWh} = 17\,800,682 \text{ kWh} = 17,801 \text{ MWh}$$

5.3 Savukaasuhäviöt

Savukaasun arvot mitattiin ensimmäisen kerran helmikuussa. Mittausten aikaan ulkona oli pakkasta parikymmentä astetta. Savukaasun arvot mitattiin kahden minuutin välein tunnin ajan. Savukaasuhäviöiden keskiarvoksi saatiin laske-
malla 22 %. Mittaus suoritettiin toisen kerran huhtikuussa, jolloin ulkona oli enää
muutama aste pakkasta. Tällä kertaa arvot mitattiin viiden minuutin välein ja
mittausta jatkettiin kahden tunnin ajan. Savukaasuhäviöiden keskiarvoksi saatiin
31 %. Savukaasun mitatut arvot ja lasketut häviöt löytyvät liitteestä 3.

Laskelmien tuloksista nähdään, että savukaasuhäviöt pienenevät ulkolämpöti-
lan laskiessa. Tämä on seurausta siitä, että sikalan lämmitysenergian tarpeen
kasvaessa varaajaa puretaan suuremmalla teholla. Silloin kattila käy pitempiä
jaksoja ja palaminen on tehokkaampaa, jolloin myös savukaasuhäviöt pienene-
vät.

Savukaasuhäviöiden suuruus tiedetään tässä vaiheessa ainoastaan talviajalta.
Koko vuoden häviöiden selvittämiseksi olisi kuitenkin tiedettävä myös kesäai-
kana syntyvien häviöiden määrä. Niitä ei ole voitu mitata, mutta luultavasti ne
ovat kuitenkin enemmän kuin 31 %. Arvioidaan niiden olevan noin 40 %. Las-
ketaan keskimääräiset savukaasuhäviöt vuodessa siten, että häviöt ovat 20 %,
kun ulkolämpötila on alle -10 °C , 30 % välillä $-10\text{ °C} \dots +10\text{ °C}$ ja 40 % lämpötilan
ollessa yli $+10\text{ °C}$. Keskiarvoksi saadaan

$$q = \frac{(1047 \text{ h} \cdot 20 \%) + (5261 \text{ h} \cdot 30 \%) + (2551 \text{ h} \cdot 40 \%) }{8760 \text{ h}} = 32 \%$$

Vuosittainen savukaasuhäviö on 32 %, jota käytetään laskettaessa lämpöhäviöiden vaikutusta polttoaineen kulutukseen.

5.4 Polttoainesäästö

Sikalan lämmitykseen myydään vuodessa 1 160 MWh lämmitysenergiaa. Nykytilanteessa lämpöhäviöitä syntyy vuoden aikana 94 MWh. Kattilan tulee tuottaa tällöin energiaa

$$\emptyset = 1\,160\text{ MWh} + 94\text{ MWh} = 1\,254\text{ MWh}.$$

Savukaasujen mukana menee hukkaan vuodessa 32 % polttoaineen sisältämästä energiasta. Jäljelle jäävän 68 % oletetaan siirtyvän kattilaveteen ja kattilan lämpöhäviöiksi. Tämä on siis tuotantoa vastaava määrä, eli 1 254 MWh. Tarvittavan polttoainemäärän energiasisältö on

$$\emptyset = \frac{1\,254\text{ MWh}}{68\%} \cdot 100\% = 1\,844\text{ MWh}.$$

Eristetyn lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöt ovat 18 MWh. Lämmitysenergiaa täytyy myydä saman verran kuin ennenkin. Tuotanto on silloin

$$\emptyset = 1\,160\text{ MWh} + 18\text{ MWh} = 1\,178\text{ MWh}.$$

Savukaasuhäviöt pysyvät ennallaan, joten tarvittavan polttoaineen energiasisältö on

$$\emptyset = \frac{1\,178\text{ MWh}}{68\%} \cdot 100\% = 1\,732\text{ MWh}$$

Mikäli lämmitysjärjestelmä eristettäisiin, säästyisi vuodessa energiaa

$$\emptyset = 1\,844\text{ MWh} - 1\,732\text{ MWh} = 112\text{ MWh}.$$

Muutetaan säästynyt energiamäärä käytettävän polttoaineen massaksi. Massa saadaan selville polttoaineen lämpöarvon avulla. Lämpöarvoksi mitattiin 18,72 MJ/kg. Lämpöarvo on megawattitunteihin muutettuna

$$H_a = \frac{18,72 \text{ MJ/kg}}{3600 \text{ s/h}} = 0,0052 \text{ MWh/kg}$$

Säästyneen polttoaineen massa on

$$m = \frac{112 \text{ MWh}}{0,0052 \text{ MWh/kg}} = 22\,000 \text{ kg}$$

6 TULOKSEN ARVIOINTI

Polttoainesäästön laskettiin olevan 22 tonnia vuodessa. Lukema ei varmasti vastaa täysin sitä, mitä se olisi todellisuudessa, sillä säästön laskeminen tarkasti on melko hankalaa, ellei täysin mahdotonta. Tarkkuuteen vaikuttaa se, että laskettaessa on pitänyt turvautua monessa kohtaa arvioihin. Putkien ja varaajan pintalämpötilat esimerkiksi perustuvat suurimmaksi osaksi arvioihin, sillä niitä ei ole ollut mahdollista mitata koko vuoden ajalta. Sama koskee myös lämpökeskuksen sisälämpötilaa. Laskennassa ei myöskään ole huomioitu sitä, että pintalämpötilat muuttuvat koko ajan suuntaan ja toiseen riippuen virtaavan veden lämpötilasta. Nämä muutokset eivät kuitenkaan ole kovin suuria, kyse on muutamista asteista. Tämän lisäksi keskuksen sisälle syntyy ilmavirtauksia, jotka vaikuttavat lämpöhäviötehoihin, etenkin konvektion osuuteen. Virtauksia syntyy kun ulkoilma pääsee sisään seinissä olevista aukoista ja kohtaa lämpimän sisäilman. Virtaukset ovat luonnollisesti tavallista voimakkaampia talviaikana.

Suuruusluokaltaan tulosta voidaan kuitenkin pitää oikeana. Pintalämpötiloja ei ole tarvinnut arvioida täysin sattumanvaraisesti. Kattilan menoputken lämpötila esimerkiksi noudattelee kattilatermostaatin asentoa. Meno- ja paluuputken välinen lämpötilaero pysyy melko vakiona vuoden ympäri, lukuun ottamatta kovimpia pakkasjaksoja. Varaajan meno- ja paluuputkessa on veden lämpötilan mitaus energiamittaria varten, jonka perusteella putkien pintalämpötilat on arvioitu. Hankalinta on varaajan keskimääräisen lämpötilan ja kattilan paluuputken pintalämpötilan arvioiminen kovimpien pakkasten aikana. Tällöin varaajaan ajetaan kuumempaa vettä kuin muulloin lämmityskauden aikana, mutta sitä myös puretaan kovemmallalla teholla.

Saadun tuloksen perusteella voidaan sanoa, että lämmitysjärjestelmän eristäminen olisi kannattavaa. Nykyisellään polttoainetta kuluu vuodessa 355 tonnia, kun käytetään energiantarpeena aikaisemmin laskettua 1 844 megawattituntia. Eristämisellä saatava 22 tonnin säästö vastaa kuutta prosenttia vuotuisesta ku-

lutuksesta. Säästö tuntuu kohtuulliselta, kun otetaan huomioon, kuinka pienellä investoinnilla siihen päästäisiin.

Lämmitysjärjestelmän eristäminen ei vaadi suuria kustannuksia. Putkiston ja varaajan eristeet ja muovipinnoitteet maksavat asennustarvikkeineen noin 500 euroa ja työt voi tehdä itse. Eristämisen jälkeen keskuksen sisälämpötila pitäisi saada pidettyä talvella siedettävänä, mikä myös hieman lisää investointikustannuksia. Rakenteissa olevien aukkojen yhteenlaskettu pinta-ala on alle kaksi neliometriä. Niiden tilkitsemiseen voidaan mahdollisesti käyttää keskuksen rakennusvaiheessa yli jääneitä seinän paloja. Mikäli kuitenkin päädytään ostamaan esimerkiksi sopivia eristelevyjä, ei niillekään tule hintaa pariakymmentä euroa enempää.

Sisälle saatetaan joutua myös asentamaan yksi tai kaksi vesipatteria, jos lämpöpölväviöt yksistään eivät riitä pitämään lämpötilaa tarpeeksi korkealla. Lämpökeskukseen kelpaa hyvin käytettykin patteri, joita löytää markkinoilta halvalla. Sadalla eurolla saa kaksi toimivaa patteria, ja kun asentamiseen tarvittavaa putkea ja työkalut löytyvät lämpöyrittäjältä itseltään, ei muita kustannuksia synny.

7 POHDINTA

Opinnäytetyön aiheena oli selvittää eristyksen vaikutusta lämpökeskuksen lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöihin ja sitä kautta polttoaineen kulutukseen.

Lämpöhäviöt laskettiin lämmitysjärjestelmän pintalämpötilojen perusteella, jotka saatiin mittaamalla ja arvioimalla. Häviöt laskettiin nykyisessä tilanteessa ja tilanteessa, jossa lämmitysjärjestelmä olisi eristetty. Myös kattilan savukaasuhäviöt selvitettiin, jotta voitiin laskea lämpöhäviöiden vaikutus polttoaineen kulutukseen.

Eristyksen laskettiin pienentävän polttoaineen kulutusta 22 tonnia vuodessa. Vaikka tulos ei varmasti vastaa täysin todellisuutta, voidaan sitä pitää suuruusluokaltaan oikeana. Tuloksen tarkkuuteen vaikuttaa se, että häviöitä laskettaessa on täytynyt suurimmaksi osaksi käyttää pelkkiä arvioita lämmitysjärjestelmän pintalämpötiloista ja lämpökeskuksen sisälämpötilasta.

Lasketun säästön perusteella lämmitysjärjestelmän eristäminen olisi kannattavaa. Säästynyt polttoainemäärä vastaa kuutta prosenttia lämpökeskuksen nykyisestä vuotuisesta polttoainetarpeesta. Säästön arvoa nostaa se, että se olisi helposti ja edullisesti toteutettavissa. Tarvittavat eristeet maksavat noin 500 euroa ja keskuksen rakenteiden parantaminen energiataloudellisemmaksi maksaisi korkeintaan parikymmentä euroa. Mikäli sisälle pitäisi asentaa kaksi lämmityspatteria nousisivat kustannukset silloinkin vain 700 euroon.

LÄHTEET

D5 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Rakennusten energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. 2007. Helsinki: Ympäristöministeriö.

Lampinen, M. 2002. Lämmönsiirto-oppi. Espoo: Otaniemi.

Seppänen, O. 2001. Rakennusten lämmitys. Jyväskylä: Gummerus.

Vuorelainen, O. 1978. Polttoaineet ja polttolaitteet. Espoo: Otakustantamo.

Wahlroos, L. 1979. Kotimaiset polttoaineet ja keskuslämmityskattilat. Pori: Tmi Energiakirjat.

LIITTEET

Liite 1. Lämpöhäviötehojen laskenta

Liite 2. Lämmitysjärjestelmän pintalämpötilojen mittaukset

Liite 3. Savukaasuhäviöt

Liite 4. Savukaasulaskujen kertoimet

Eristämättömän lämmitysjärjestelmän lämpöhäviötehot

Lämpöhäviötehot, kun ulkolämpötila on alle -25 °C

Kattilan lämpöhäviöteho on sama, kuin ulkolämpötilassa -20 °C laskettu, eli 3000 W.

Kattilan menoputken lämpöhäviötehon laskenta, kun pintalämpötila on 98 °C ja ympäristön lämpötila 10 °C.

Konvektion lämmönsiirtokerroin saadaan kaavasta

$$\alpha_u = 5,0 \sqrt[4]{\frac{98 \text{ K} - 10 \text{ K}}{283,15 \text{ K} \cdot 0,0761 \text{ m}}} = 7,1 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

Konvektion lämpövirran tiheys saadaan kaavasta

$$q_k = 7,1 \text{ W/m}^2 \text{ K} \cdot (98 - 10) \text{ K} = 625 \text{ W/m}^2$$

Säteilyn lämpövirran tiheys saadaan kaavasta

$$q_s = 0,8 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} (371,15^4 - 283,15^4) \text{ K}^4 = 570 \text{ W/m}^2$$

Putken pituus on 11 metriä ja pinta-ala 2,6 m². Lämpöhäviötehoksi saadaan

$$\emptyset = 2,6 \text{ m}^2 \cdot (625 + 570) \text{ W/m}^2 = 3100 \text{ W}$$

Kattilan paluuputken lämpöhäviötehon laskenta, kun pintalämpötila on 75 °C.

Konvektion lämmönsiirtokertoimeksi saadaan

$$\alpha_u = 5,0 \sqrt[4]{\frac{75 \text{ K} - 10 \text{ K}}{283,15 \text{ K} \cdot 0,0761 \text{ m}}} = 6,6 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

Konvektion lämpövirran tiheys on

$$q_k = 6,6 \text{ W/m}^2 \text{ K} \cdot (75 - 10) \text{ K} = 430 \text{ W/m}^2$$

Säteilyn lämpövirran tiheys on

$$q_s = 0,8 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} (348,15^4 - 283,15^4) \text{ K}^4 = 375 \text{ W/m}^2$$

Putken pinta-ala $1,75 \text{ m}^2$. Lämpöhäviöteho on

$$\dot{Q} = 1,75 \text{ m}^2 \cdot (430 + 375) \text{ W/m}^2 = 1400 \text{ W}$$

Varaajan menoputken lämpöhäviöteho, kun pintalämpötila $83 \text{ }^\circ\text{C}$. Konvektion lämmönsiirtokerroin on

$$\alpha_u = 5,0 \sqrt[4]{\frac{83 \text{ K} - 10 \text{ K}}{283,15 \text{ K} \cdot 0,0761 \text{ m}}} = 6,8 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

Konvektion lämpövirran tiheys on

$$q_k = 6,8 \text{ W/m}^2 \text{ K} \cdot (83 - 10) \text{ K} = 496 \text{ W/m}^2$$

Säteilyn lämpövirran tiheys on

$$q_s = 0,8 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} (356,15^4 - 283,15^4) \text{ K}^4 = 438 \text{ W/m}^2$$

Putken pinta-ala on $1,36 \text{ m}^2$. Lämpöhäviöteho on

$$\dot{Q} = 1,36 \text{ m}^2 \cdot (496 + 438) \text{ W/m}^2 = 1270 \text{ W}$$

Varaajan paluuputken lämpöhäviöteho, kun pintalämpötila on $36 \text{ }^\circ\text{C}$. Konvektion lämmönsiirtokerroin on

$$\alpha_u = 5,0 \sqrt[4]{\frac{36 \text{ K} - 10 \text{ K}}{283,15 \text{ K} \cdot 0,0761 \text{ m}}} = 5,2 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

Konvektion lämpövirran tiheys on

$$q_k = 5,2 \text{ W/m}^2 \text{ K} \cdot (36 - 10) \text{ K} = 135 \text{ W/m}^2$$

Säteilyn lämpövirran tiheys on

$$q_s = 0,8 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} (309,15^4 - 283,15^4) \text{ K}^4 = 123 \text{ W/m}^2$$

Putken pinta-ala on $0,38 \text{ m}^2$. Lämpöhäviöteho on

$$\dot{Q} = 0,38 \text{ m}^2 \cdot (135 + 123) \text{ W/m}^2 = 98 \text{ W}$$

Varaajalta lähtevän käyttämättömän kattilan haaran pintalämpötila on $75 \text{ }^\circ\text{C}$, eli sama kuin kattilan paluuputken lämpötila. Siten myös lämpövirran tiheydet ovat samat. Putken pinta-ala on $0,41 \text{ m}^2$. Lämpöhäviöteho on

$$\dot{Q} = 0,41 \text{ m}^2 \cdot (430 + 375) \text{ W/m}^2 = 330 \text{ W}$$

Putkistohäviöteho on yhteensä

$$\dot{Q} = (3100 + 1400 + 1270 + 98 + 330) \text{ W} = 6198 \text{ W}$$

Varaajan kylkien lämpöhäviöteho, kun pintalämpötila on keskimäärin $75 \text{ }^\circ\text{C}$. Varaajan yläosan lämpöhäviöteho lasketaan erikseen. Konvektion lämmönsiirtymiskerroin on

$$\alpha_k = 2,2 \cdot (75 \text{ K} - 10 \text{ K})^{0,25} = 6,2 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

Konvektion lämpövirran tiheys on

$$q_k = 6,2 \text{ W/m}^2 \text{ K} \cdot (75 - 10) \text{ K} = 403 \text{ W/m}^2$$

Säteilyn lämpövirran tiheys on

$$q_s = 0,8 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} (348,15^4 - 283,15^4) \text{ K}^4 = 375 \text{ W/m}^2$$

Varaajan kylkien lämpöhäviöteho, kun pinta-ala on $6,8 \text{ m}^2$

$$\dot{Q} = 6,8 \text{ m}^2 \cdot (403 + 375) \text{ W/m}^2 = 5290 \text{ W}$$

Varaajan yläosan lämpöhäviöteho. Karakteristinen mitta, kun yläosan halkaisija on yksi metri

$$l = \frac{1 \text{ m}}{4} = 0,25 \text{ m}$$

Ilman keskimääräinen lämpötila, kun ympäristön lämpötila on $10 \text{ }^\circ\text{C}$ ja pinnan lämpötila $75 \text{ }^\circ\text{C}$

$$\bar{T} = \frac{10 \text{ }^\circ\text{C} + 75 \text{ }^\circ\text{C}}{2} = 43 \text{ }^\circ\text{C}$$

Lämpölaajenemiskerroin on

$$\beta = \frac{1}{(273,15 + 43) \text{ K}}$$

Grashofin luvuksi saadaan

$$Gr = \frac{9,81 \text{ m/s}^2 \cdot \frac{1}{316,15 \text{ K}} \cdot (0,25 \text{ m})^3 \cdot (75 - 10) \text{ K}}{(17,6 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s})^2} = 101\,738\,158$$

Prandtlin luku ilmalle on 0,71 ja ilman lämmönjohtavuus lämpötilassa $43 \text{ }^\circ\text{C}$ on $0,0265 \text{ W/mK}$. Konvektion lämmönsiirtokerroin on

$$\alpha_k = \frac{0,0265 \text{ W/mK} \cdot 0,27(0,71 \cdot 101\,738\,158)^{0,25}}{0,25 \text{ m}} = 2,6 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Konvektion lämpövirran tiheys on

$$q_k = 2,6 \text{ W/m}^2\text{K} \cdot (75 - 10) \text{ K} = 169 \text{ W/m}^2$$

Säteilyn lämmönsiirtokerroin on

$$q_s = 0,8 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} (348,15^4 - 283,15^4) K^4 = 375 \text{ W/m}^2$$

Varaajan yläosan lämpöhäviöteho, kun yläosan pinta-ala on $\pi \cdot (0,5 \text{ m})^2$

$$\emptyset = \pi \cdot (0,5 \text{ m})^2 \cdot (169 + 375) \text{ W/m}^2 = 427 \text{ W}$$

Varaajan lämpöhäviöteho on yhteensä

$$\emptyset = (5290 + 427) \text{ W} = 5717 \text{ W}$$

Järjestelmän lämpöhäviöteho on yhteensä

$$\emptyset = (3000 + 6198 + 5717) \text{ W} = 14\,915 \text{ W}$$

Lämpöhäviötehot, kun ulkolämpötila on -25 °C ... -10 °C ja sisälämpötila on $+10\text{ °C}$

Kattilan lämpöhäviötehot. Lasketaan ensimmäisenä kattilan kansi, jonka karakteristinen mitta on

$$l = \frac{1,2\text{ m} \cdot 1,9\text{ m}}{2,4\text{ m} + 3,8\text{ m}} = 0,37\text{ m}$$

Ilman keskimääräinen lämpötila, kun pinnan lämpötila on $+39\text{ °C}$.

$$\bar{T} = \frac{10\text{ °C} + 39\text{ °C}}{2} = 25\text{ °C}$$

Lämpölaajenemiskerroin on

$$\beta = \frac{1}{(273,15 + 25)\text{ K}}$$

Grashofin luku on

$$Gr = \frac{9,81\text{ m/s}^2 \cdot \frac{1}{298,15\text{ K}} \cdot (0,37\text{ m})^3 \cdot (39 - 10)\text{ K}}{(15,7 \cdot 10^{-6}\text{ m}^2/\text{s})^2} = 198\,770\,436$$

Ilman lämmönjohtavuus keskimääräisessä lämpötilassa 25 °C on $0,0251\text{ W / mK}$. Konvektion lämmönsiirtokerroin on

$$\alpha_k = \frac{0,0251\text{ W/mK} \cdot 0,27(0,71 \cdot 198\,770\,436)^{0,25}}{0,37\text{ m}} = 2,0\text{ W/m}^2\text{ K}$$

Konvektion lämpövirran tiheys on

$$q_k = 2,0\text{ W/m}^2\text{ K} \cdot (39 - 10)\text{ K} = 58\text{ W/m}^2$$

Säteilyn lämpövirran tiheys on

$$q_s = 0,8 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} (312,15^4 - 283,15^4)\text{ K}^4 = 139\text{ W/m}^2$$

Lämpöhäviöteho on

$$\dot{Q} = 2,3 \text{ m}^2 \cdot (58 + 139) \text{ W/m}^2 = 453 \text{ W}$$

Etuseinän lämpöhäviöteho, kun pinnan lämpötila on +33 °C. Ilman keskimääräinen lämpötila on 22 °C. Lämpölaajenemiskerroin on

$$\beta = \frac{1}{(273,15 + 22) \text{ K}}$$

Grashofin luku on

$$Gr = \frac{9,81 \text{ m/s}^2 \cdot \frac{1}{295,15 \text{ K}} \cdot (1,6 \text{ m})^3 \cdot (33 - 10) \text{ K}}{(15,7 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s})^2} = 12\,703\,245\,730$$

Ilman lämmönjohtavuus keskimääräisessä lämpötilassa 22 °C on 0,0251 W/mK. Konvektion lämmönsiirtokerroin on

$$\alpha_k = \frac{0,0251 \text{ W/mK} \cdot 0,1(0,71 \cdot 12\,703\,245\,730)^{1/3}}{1,6 \text{ m}} = 3,27 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

Konvektion lämpövirran tiheys on

$$q_k = 3,27 \text{ W/m}^2 \text{ K} \cdot (33 - 10) \text{ K} = 75 \text{ W/m}^2$$

Säteilyn lämpövirran tiheys on

$$q_s = 0,8 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} (306,15^4 - 283,15^4) \text{ K}^4 = 107 \text{ W/m}^2$$

Lämpöhäviöteho on

$$\dot{Q} = 1,4 \text{ m}^2 \cdot (75 + 107) \text{ W/m}^2 = 255 \text{ W}$$

Oikean seinän pintalämpötila on myös +33 °C, joten ainoastaan pinta-ala on erona edelliseen laskuun. Lämpöhäviöteho on

$$\emptyset = 3,1 \text{ m}^2 \cdot (75 + 107) \text{ W/m}^2 = 564 \text{ W}$$

Vasemman seinän pintalämpötila on +35 °C. Grashofin luku on

$$Gr = \frac{9,81 \text{ m/s}^2 \cdot \frac{1}{296,15 \text{ K}} \cdot (1,6 \text{ m})^3 \cdot (35 - 10) \text{ K}}{(15,7 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s})^2} = 13\,761\,251\,190$$

Konvektion lämmönsiirtokerroin on

$$\alpha_k = \frac{0,0251 \text{ W/mK} \cdot 0,1(0,71 \cdot 13\,761\,251\,190)^{1/3}}{1,6 \text{ m}} = 3,35 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

Konvektion lämpövirran tiheys on

$$q_k = 3,35 \text{ W/m}^2 \text{ K} \cdot (35 - 10) \text{ K} = 84 \text{ W/m}^2$$

Säteilyn lämpövirran tiheys on

$$q_s = 0,8 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} (308,15^4 - 283,15^4) \text{ K}^4 = 117 \text{ W/m}^2$$

Lämpöhäviöteho on

$$\emptyset = 3,1 \text{ m}^2 \cdot (84 + 117) \text{ W/m}^2 = 623 \text{ W}$$

Takaseinän lämpötila on myös +35 °C, joten lämpöhäviöteho on

$$\emptyset = 1,9 \text{ m}^2 \cdot (84 + 117) \text{ W/m}^2 = 382 \text{ W}$$

Polttimeen kyljen pintalämpötila on 32 °C. Konvektion lämmönsiirtokerroin on

$$\alpha_u = 5,0 \sqrt[4]{\frac{32 \text{ K} - 10 \text{ K}}{283,15 \text{ K} \cdot 0,8 \text{ m}}} = 2,8 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

Konvektion lämpövirran tiheys on

$$q_k = 2,8 \text{ W/m}^2 \text{ K} \cdot (32 - 10) \text{ K} = 62 \text{ W/m}^2$$

Säteilyn lämpövirran tiheys on

$$q_s = 0,8 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} (305,15^4 - 283,15^4) K^4 = 102 \text{ W/m}^2$$

Lämpöhäviöteho on

$$\emptyset = 1,9 \text{ m}^2 \cdot (62 + 102) \text{ W/m}^2 = 312 \text{ W}$$

Polttimen päädyn pintalämpötila on +75 °C. Karakteristinen mitta on

$$l = \frac{0,5 \text{ m}^2}{2\pi + 0,4 \text{ m}} = 0,2 \text{ m}$$

Grashofin luku on

$$Gr = \frac{9,81 \text{ m/s}^2 \cdot \frac{1}{316,15 \text{ K}} \cdot (0,2 \text{ m})^3 \cdot (75 - 10) \text{ K}}{(17,6 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s})^2} = 52\,089\,937$$

Konvektion lämmönsiirtokerroin on

$$\alpha_k = \frac{0,0265 \text{ W/mK} \cdot 0,59(0,71 \cdot 52\,089\,937)^{0,25}}{0,2 \text{ m}} = 6,1 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

Konvektion lämpövirran tiheys on

$$q_k = 6,1 \text{ W/m}^2 \text{ K} \cdot (75 - 10) \text{ K} = 397 \text{ W/m}^2$$

Säteilyn lämpövirran tiheys on

$$q_s = 0,8 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} (348,15^4 - 283,15^4) K^4 = 375 \text{ W/m}^2$$

Lämpöhäviöteho on

$$\emptyset = 0,5 \text{ m}^2 \cdot (397 + 375) \text{ W/m}^2 = 386 \text{ W}$$

Kattilan lämpöhäviöteho on yhteensä

$$\dot{Q} = (453 + 255 + 564 + 623 + 382 + 312 + 386)W = 2975 W$$

Kattilan menoputken lämpöhäviötehon laskenta, kun pintalämpötila on 79 °C.

Konvektion lämmönsiirtokerroin on

$$\alpha_u = 5,0 \sqrt[4]{\frac{79 K - 10 K}{283,15 K \cdot 0,0761 m}} = 6,7 W/m^2 K$$

Konvektion lämpövirran tiheys on

$$q_k = 6,7 W/m^2 K \cdot (79 - 10) K = 462 W/m^2$$

Säteilyn lämpövirran tiheys on

$$q_s = 0,8 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} (352,15^4 - 283,15^4) K^4 = 406 W/m^2$$

Lämpöhäviöteho on

$$\dot{Q} = 2,6 m^2 \cdot (462 + 406) W/m^2 = 2257 W$$

Kattilan paluuputken lämpöhäviötehon laskenta, kun pintalämpötila on 73 °C

Konvektion lämmönsiirtokerroin on

$$\alpha_u = 5,0 \sqrt[4]{\frac{73 K - 10 K}{283,15 K \cdot 0,0761 m}} = 6,5 W/m^2 K$$

Konvektion lämpövirran tiheys on

$$q_k = 6,5 W/m^2 K \cdot (73 - 10) K = 410 W/m^2$$

Säteilyn lämpövirran tiheys on

$$q_s = 0,8 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} (346,15^4 - 283,15^4) K^4 = 360 \text{ W/m}^2$$

Lämpöhäviöteho on

$$\dot{Q} = 1,75 \text{ m}^2 \cdot (410 + 360) \text{ W/m}^2 = 1348 \text{ W}$$

Varaajan menoputken lämpöhäviötehon laskenta, kun pintalämpötila on 78 °C.

Konvektion lämmönsiirtokerroin on

$$\alpha_u = 5,0 \sqrt[4]{\frac{78 \text{ K} - 10 \text{ K}}{283,15 \text{ K} \cdot 0,0761 \text{ m}}} = 6,7 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

Konvektion lämpövirran tiheys on

$$q_k = 6,7 \text{ W/m}^2 \text{ K} \cdot (78 - 10) \text{ K} = 456 \text{ W/m}^2$$

Säteilyn lämpövirran tiheys on

$$q_s = 0,8 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} (351,15^4 - 283,15^4) K^4 = 398 \text{ W/m}^2$$

Lämpöhäviöteho on

$$\dot{Q} = 1,36 \text{ m}^2 \cdot (456 + 398) \text{ W/m}^2 = 1161 \text{ W}$$

Paluuputken lämpötila sama, kuin edellä lasketussa -25 °C:ssa, joten lämpöhäviöteho on 98 W.

Kattilan 2 haara lämpöhäviöteho, kun pintalämpötila on 72 °C.

Konvektion lämmönsiirtokerroin on

$$\alpha_u = 5,0 \sqrt[4]{\frac{72 \text{ K} - 10 \text{ K}}{283,15 \text{ K} \cdot 0,0761 \text{ m}}} = 6,5 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

Konvektion lämpövirran tiheys on

$$q_k = 6,5 \text{ W/m}^2 \text{ K} \cdot (72 - 10) \text{ K} = 403 \text{ W/m}^2$$

Säteilyn lämpövirran tiheys on

$$q_s = 0,8 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} (345,15^4 - 283,15^4) \text{ K}^4 = 352 \text{ W/m}^2$$

Lämpöhäviöteho on

$$\dot{Q} = 0,41 \text{ m}^2 \cdot (403 + 352) \text{ W/m}^2 = 310 \text{ W}$$

Putkistohäviöteho on yhteensä

$$\dot{Q} = (2257 + 1348 + 1161 + 98 + 310) \text{ W} = 5174 \text{ W}$$

Varaajan lämpöhäviötehon laskenta, kun pintalämpötila on keskimäärin 79 °C

Konvektion lämmönsiirtokerroin on

$$\alpha_k = 2,2 \cdot (79 \text{ K} - 10 \text{ K})^{0,25} = 6,3 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

Konvektion lämpövirran tiheys on

$$q_k = 6,3 \text{ W/m}^2 \text{ K} \cdot (79 - 10) \text{ K} = 435 \text{ W/m}^2$$

Säteilyn lämpövirran tiheys on

$$q_s = 0,8 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} (352,15^4 - 283,15^4) \text{ K}^4 = 406 \text{ W/m}^2$$

Seinien lämpöhäviöteho on

$$\dot{Q} = 6,8 \text{ m}^2 \cdot (435 + 406) \text{ W/m}^2 = 5719 \text{ W}$$

Varaajan yläosan lämpöhäviöteho. Ilman keskimääräinen lämpötila, kun ympäristön lämpötila on +10 °C ja pinnan lämpötila +79 °C.

$$\bar{T} = \frac{10\text{ °C} + 79\text{ °C}}{2} = 45\text{ °C}$$

Lämpölaajenemiskerroin on

$$\beta = \frac{1}{(273,15 + 45)K}$$

Grashofin luvuksi saadaan

$$Gr = \frac{9,81\text{ m/s}^2 \cdot \frac{1}{318,15\text{ K}} \cdot (0,25\text{ m})^3 \cdot (79 - 10)K}{(17,6 \cdot 10^{-6}\text{ m}^2/\text{s})^2} = 107\,320\,049$$

Ilman lämmönjohtavuus keskimääräisessä lämpötilassa 45 °C on 0,0265 W / mK. Konvektion lämmönsiirtokerroin on

$$\alpha_k = \frac{0,0265\text{ W/mK} \cdot 0,27(0,71 \cdot 107\,320\,049)^{0,25}}{0,25\text{ m}} = 2,67\text{ W/m}^2K$$

Konvektion lämpövirran tiheys on

$$q_k = 2,67\text{ W/m}^2K \cdot (79 - 10)K = 185\text{ W/m}^2$$

Säteilyn lämpövirran tiheys on

$$q_s = 0,8 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} (352,15^4 - 283,15^4)K^4 = 406\text{ W/m}^2$$

Yläosan lämpöhäviöteho on

$$\emptyset = \pi \cdot (0,5\text{ m})^2 \cdot (185 + 406)\text{ W/m}^2 = 464\text{ W}$$

Varaajan lämpöhäviöteho on yhteensä

$$\emptyset = (5719 + 464)W = 6183\text{ W}$$

Järjestelmän lämpöhäviöteho on yhteensä

$$\dot{\Phi} = (3000 + 5174 + 6183)W = 14\,357\,W$$

Lämpöhäviötehojen laskenta, kun ulkolämpötila on $-10\text{ °C} \dots +10\text{ °C}$ ja sisälämpötila 17 °C .

Kattilan lämpöhäviötehot oli ehditty aikaisemmin laskea $+15\text{ °C}$:ssa, joten myös tässä on käytetty samaa sisälämpötilaa. Kahdella asteella ei katsota olevan suurta merkitystä tehoihin. Kannen lämpöhäviöteho, kun sen lämpötila on $+39\text{ °C}$.

Grashofin luvuksi saadaan

$$Gr = \frac{9,81\text{ m/s}^2 \cdot \frac{1}{300,15\text{ K}} \cdot (0,37\text{ m})^3 \cdot (39 - 15)\text{ K}}{(16,0 \cdot 10^{-6}\text{ m}^2/\text{s})^2} = 155\,205\,500$$

Konvektion lämmönsiirtokerroin on

$$\alpha_k = \frac{0,0255\text{ W/mK} \cdot 0,27(0,71 \cdot 155\,205\,500)^{0,25}}{0,37\text{ m}} = 1,91\text{ W/m}^2\text{K}$$

Konvektion lämpövirran tiheys on

$$q_k = 1,91\text{ W/m}^2\text{K} \cdot (39 - 15)\text{ K} = 46\text{ W/m}^2$$

Säteilyn lämpövirran tiheys on

$$q_s = 0,8 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} (312,15^4 - 288,15^4)\text{ K}^4 = 118\text{ W/m}^2$$

Lämpöhäviöteho on

$$\emptyset = 2,3\text{ m}^2 \cdot (46 + 118)\text{ W/m}^2 = 377\text{ W}$$

Etuseinän lämpöhäviöteho, kun sen lämpötila on $+33\text{ °C}$.

Grashofin luvuksi saadaan

$$Gr = \frac{9,81\text{ m/s}^2 \cdot \frac{1}{288,15\text{ K}} \cdot (1,6\text{ m})^3 \cdot (33 - 15)\text{ K}}{(15,7 \cdot 10^{-6}\text{ m}^2/\text{s})^2} = 10\,183\,182\,610$$

Konvektion lämmönsiirtokerroin on

$$\alpha_k = \frac{0,0251 \text{ W/mK} \cdot 0,1(0,71 \cdot 10 \ 183 \ 182 \ 610)^{1/3}}{1,6 \text{ m}} = 3,0 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Konvektion lämpövirran tiheys on

$$q_k = 3,0 \text{ W/m}^2\text{K} \cdot (33 - 15)\text{K} = 54 \text{ W/m}^2$$

Säteilyn lämpövirran tiheys on

$$q_s = 0,8 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} (306,15^4 - 288,15^4)\text{K}^4 = 86 \text{ W/m}^2$$

Lämpöhäviöteho on

$$\dot{Q} = 1,4 \text{ m}^2 \cdot (54 + 86) \text{ W/m}^2 = 196 \text{ W}$$

Oikea seinä on myös +33 °C, joten sen lämpöhäviöteho on

$$\dot{Q} = 3,1 \text{ m}^2 \cdot (54 + 86) \text{ W/m}^2 = 434 \text{ W}$$

Vasemman seinän lämpöhäviöteho, kun sen pintalämpötila on +35 °C. Grashofin luku on

$$Gr = \frac{9,81 \text{ m/s}^2 \cdot \frac{1}{288,15 \text{ K}} \cdot (1,6\text{m})^3 \cdot (35 - 15)\text{K}}{(15,7 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s})^2} = 11 \ 314 \ 647 \ 340$$

Konvektion lämmönsiirtokerroin on

$$\alpha_k = \frac{0,0251 \text{ W/mK} \cdot 0,1(0,71 \cdot 11 \ 314 \ 647 \ 340)^{1/3}}{1,6 \text{ m}} = 3,14 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Konvektion lämpövirran tiheys on

$$q_k = 3,14 \text{ W/m}^2\text{K} \cdot (35 - 15)\text{K} = 63 \text{ W/m}^2$$

Säteilyn lämpövirran tiheys on

$$q_s = 0,8 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} (308,15^4 - 288,15^4) K^4 = 96 \text{ W/m}^2$$

Lämpöhäviöteho on

$$\dot{Q} = 3,1 \text{ m}^2 \cdot (63 + 96) \text{ W/m}^2 = 493 \text{ W}$$

Takaseinän lämpötila on myös +35 °C, joten sen lämpöhäviöteho on

$$\dot{Q} = 1,9 \text{ m}^2 \cdot (63 + 96) \text{ W/m}^2 = 302 \text{ W}$$

Polttimen kyljen lämpöhäviöteho, kun sen pintalämpötila on +32 °C. Konvektion lämmönsiirtokerroin on

$$\alpha_u = 5,0 \sqrt[4]{\frac{32 \text{ K} - 15 \text{ K}}{288,15 \text{ K} \cdot 0,8 \text{ m}}} = 2,6 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

Konvektion lämpövirran tiheys on

$$q_k = 2,6 \text{ W/m}^2 \text{ K} \cdot (32 - 15) \text{ K} = 44 \text{ W/m}^2$$

Säteilyn lämpövirran tiheys on

$$q_s = 0,8 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} (305,15^4 - 288,15^4) K^4 = 81 \text{ W/m}^2$$

Lämpöhäviöteho on

$$\dot{Q} = 1,9 \text{ m}^2 \cdot (44 + 81) \text{ W/m}^2 = 238 \text{ W}$$

Polttimen päädyn pintalämpötila on +75 °C. Grashofin luvuksi saadaan

$$Gr = \frac{9,81 \text{ m/s}^2 \cdot \frac{1}{288,15 \text{ K}} \cdot (0,2 \text{ m})^3 \cdot (75 - 15) \text{ K}}{(15,7 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s})^2} = 66\,296\,762$$

Konvektion lämmönsiirtokerroin on

$$\alpha_k = \frac{0,0251 \text{ W/mK} \cdot 0,59(0,71 \cdot 66\,296\,762)^{0,25}}{0,2 \text{ m}} = 6,1 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Konvektion lämpövirran tiheys on

$$q_k = 6,1 \text{ W/m}^2\text{K} \cdot (75 - 15)\text{K} = 366 \text{ W/m}^2$$

Säteilyn lämpövirran tiheys on

$$q_s = 0,8 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} (348,15^4 - 288,15^4)\text{K}^4 = 354 \text{ W/m}^2$$

Lämpöhäviöteho on

$$\dot{Q} = 0,5 \text{ m}^2 \cdot (366 + 354) \text{ W/m}^2 = 360 \text{ W}$$

Kattilan lämpöhäviöteho on yhteensä

$$\dot{Q} = (377 + 196 + 434 + 493 + 302 + 238 + 360) \text{ W} = 2400 \text{ W}$$

Kattilan menoputken lämpöhäviöteho on

$$\dot{Q} = 2,6 \text{ m}^2 \cdot (403 + 376) \text{ W/m}^2 = 2025 \text{ W}$$

Paluuputken lämpöhäviöteho on

$$\dot{Q} = 1,75 \text{ m}^2 \cdot (353 + 330) \text{ W/m}^2 = 1195 \text{ W}$$

Varaajan menoputken lämpöhäviöteho on

$$\dot{Q} = 1,36 \text{ m}^2 \cdot (397 + 368) \text{ W/m}^2 = 1040 \text{ W}$$

Varaajan paluuputken lämpöhäviöteho on

$$\dot{Q} = 0,38 \text{ m}^2 \cdot (91 + 93) \text{ W/m}^2 = 70 \text{ W}$$

Käyttämättömän kattilan putken lämpöhäviöteho on

$$\dot{Q} = 0,41 \text{ m}^2 \cdot (347 + 322) \text{ W/m}^2 = 274 \text{ W}$$

Putkistohäviöt ovat yhteensä

$$\dot{Q} = (2025 + 1195 + 1040 + 70 + 274) \text{ W} = 4604 \text{ W}$$

Varaajan kylkien lämpöhäviöteho on

$$\dot{Q} = 6,8 \text{ m}^2 \cdot (384 + 376) \text{ W/m}^2 = 5168 \text{ W}$$

Varaajan yläosan lämpöhäviöteho on

$$\dot{Q} = \pi \cdot (0,5 \text{ m})^2 \cdot (161 + 376) \text{ W/m}^2 = 422 \text{ W}$$

Varaajan lämpöhäviöteho on yhteensä

$$\dot{Q} = (5168 + 422) \text{ W} = 5590 \text{ W}$$

Järjestelmän lämpöhäviöteho on yhteensä

$$\dot{Q} = (2400 + 4604 + 5590) \text{ W} = 12\,594 \text{ W}$$

Lämpöhäviötehojen laskenta, kun ulkolämpötila on yli +10 °C ja sisälämpötila +33 °C.

Kattilan pinnan ja ilman välillä ei ole lämpötilaeroa, joten häviöitä ei synny, paitsi polttimen päädyistä, jonka lämpötila on +75 °C. Sen lämpöhäviöteho on

$$\dot{Q} = 0,5 \text{ m}^2 \cdot (235 + 268) \text{ W/m}^2 = 252 \text{ W}$$

Kattilan menoputken lämpöhäviöteho on

$$\dot{Q} = 2,6 \text{ m}^2 \cdot (207 + 230) \text{ W/m}^2 = 1136 \text{ W}$$

Paluuputken lämpöhäviöteho on

$$\dot{Q} = 1,75 \text{ m}^2 \cdot (173 + 195) \text{ W/m}^2 = 644 \text{ W}$$

Varaajan menoputken lämpöhäviöteho on

$$\dot{Q} = 1,36 \text{ m}^2 \cdot (207 + 230) \text{ W/m}^2 = 594 \text{ W}$$

Varaajan paluuputkesta ei synny häviöitä, koska lämpötilaeroa ei ole.

Käyttämättömän kattilan putken lämpöhäviöteho on

$$\dot{Q} = 0,41 \text{ m}^2 \cdot (207 + 230) \text{ W/m}^2 = 179 \text{ W}$$

Putkistohäviöt ovat yhteensä

$$\dot{Q} = (1136 + 644 + 594 + 179) \text{ W} = 2553 \text{ W}$$

Varaajan kylkien lämpöhäviöteho on

$$\dot{Q} = 6,8 \text{ m}^2 \cdot (166 + 195) \text{ W/m}^2 = 2455 \text{ W}$$

Varaajan yläosan lämpöhäviöteho on

$$\dot{Q} = \pi \cdot (0,5 \text{ m})^2 \cdot (85 + 230) \text{ W/m}^2 = 247 \text{ W}$$

Varaajan lämpöhäviöteho on yhteensä

$$\dot{\Phi} = (2455 + 247) \text{ W} = 2702 \text{ W}$$

Järjestelmän lämpöhäviöteho on yhteensä

$$\dot{\Phi} = (252 + 2553 + 2702) \text{ W} = 5507 \text{ W}$$

Eristetyn lämmitysjärjestelmän lämpöhäviötehot

Lämpöhäviötehot, kun ulkolämpötila on korkeintaan -5 °C ja sisälämpötila on +10 °C.

Kattilan lämpöhäviötehot on jo aikaisemmin laskettu sisälämpötilassa +10 °C. Ne ovat 3000 wattia.

Putkiston lämpötila on +15 °C. Käyttämättömälle kattilalle menevää putkea ei eristetä. Varaajan paluuputken pinta on eristettynä niin alhainen, ettei siitä synny häviöitä. Eristettyä putkea on yhteensä 24 metriä ja putken ulkohalkaisija eristettynä on 156,1 millimetriä. Putkiston ulkopinnan konvektion lämmönsiirto-kerroin on

$$\alpha_u = 5,0 \sqrt[4]{\frac{15 \text{ K} - 10 \text{ K}}{283,15 \text{ K} \cdot 0,1561 \text{ m}}} = 2,9 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

Konvektion lämpövirran tiheys on

$$q_k = 2,9 \text{ W/m}^2 \text{ K} \cdot (15 - 10) \text{ K} = 14,5 \text{ W/m}^2$$

Putken muovipäällysteen emissiviteetti on 0,97. Säteilyn lämpövirran tiheys on

$$q_s = 0,97 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} (288,15^4 - 283,15^4) \text{ K}^4 = 25,6 \text{ W/m}^2$$

Eristetyn putkiston lämpöhäviöteho on

$$\emptyset = \pi \cdot 0,1561 \text{ m} \cdot 24 \text{ m} (14,5 + 25,6) \text{ W/m}^2 = 471 \text{ W}$$

Käyttämättömän kattilan haaran lämpöhäviöteho on sama, kuin ulkolämpötilassa -25...-10 °C laskettu, eli 310 wattia. Putkistohäviöt ovat siis yhteensä 781 wattia.

Varaajan pintalämpötila on +18 °C. Sen kylkien lämpöhäviöteho on

$$\dot{Q} = 6,8 \text{ m}^2 \cdot (30 + 4) \text{ W/m}^2 = 231 \text{ W}$$

Varaajan yläosan lämpöhäviöteho on

$$\dot{Q} = \pi \cdot (0,5 \text{ m})^2 \cdot (13 + 4) \text{ W/m}^2 = 13 \text{ W}$$

Varaajan lämpöhäviöteho on yhteensä 244 wattia.

Järjestelmän lämpöhäviöteho on yhteensä

$$\dot{Q} = (3000 + 781 + 244) \text{ W} = 4025 \text{ W}$$

Lämpöhäviötehot, kun ulkolämpötila on välillä -5 °C...+5 °C ja sisälämpötila on +15 °C.

Eristetystä putkistosta ei synny häviöitä. Varaajan ja ilman välinen lämpötilaero on korkeintaan kolme astetta, joten siitäkään ei katsota syntyvän merkittäviä häviöitä. Käyttämättömän kattilan haaran lämpöhäviöteho on sama, kuin ulkolämpötilassa -10...+10 °C laskettu, eli 274 wattia. Kattilan häviöteho samassa lämpötilassa on 2400 wattia. Järjestelmän lämpöhäviöteho on siten yhteensä 2674 wattia.

Lämpöhäviötehot, kun ulkolämpötila on yli +5 °C ja sisälämpötila +20...+30 °C.

Tässä tilanteessa häviöitä syntyy ainoastaan käyttämättömälle kattilalle menevästä haarasta ja polttimen kuumasta päädyistä. Haaran lämpöhäviöteho on sama, kuin mitä laskettiin ulkolämpötilan ollessa yli +10 °C, eli 179 wattia. Polttimen päädyn häviöteho samassa lämpötilassa on 252 wattia. Järjestelmän lämpöhäviöteho on siis yhteensä 431 wattia.

	kattila, meno / °C	kattila, paluu / °C	varaaja, meno / °C	varaaja, paluu / °C	varaaja
mittaus 1	78	72	78	36	79
	81	75			79
					79
					80
					75
mittaus 2	81	76	79	36	76
	77	72	78		78
	81	71			77
					81
					80
mittaus 3	81	74	77	36	77
	74	74	78		78
	75	71			80
					80
					79
keskiarvo	79	73	78	36	79

KATTILAN MITATUT PINTALÄMPÖTILAT

	etuseinä	vas. seinä	oik. seinä	takaseinä	kansi	polttin
osan 1 pinta-ala / m ²	1,4	2,9	3,1	1,9	1,6	0,5
osan 1 lämpötila / °C	33	35	33	35	36	75
osan 2 pinta-ala		0,2			0,3	1,9
osan 2 lämpötila		39			50	32
osan 3 pinta-ala					0,4	
osan 3 lämpötila					45	
pinta-ala yht.	1,4	3,1	3,1	1,9	2,3	
lämpötila, painotettu ka.	33	35	33	35	39	

aika	Tsk	Th	Tnetto	O ₂	CO ₂	CO	palamisen hyötysuhde / %
00:00	325	8,4	324	3,6	16,0	0,4	85,6
00:02	305	8,7	313	1,7	17,1	9,5	86,5
00:04	228	8,9	224	11,2	8,9	0,8	82,3
00:06	311	9,0	281	8,2	15,0	0,2	85,8
00:08	328	9,1	318	4,2	16,9	2,8	85,6
00:10	338	9,2	335	1,8	19,5	11,5	87,5
00:12	253	9,3	240	8,5	12,6	1,6	85,9
00:14	227	9,4	217	10,6	10,1	1,1	81,0
00:16	316	9,4	310	5,0	15,1	1,0	84,9
00:18	328	9,4	322	3,5	16,4	3,7	86,6
00:20	341	9,4	333	1,9	18,1	6,3	86,6
00:22	237	9,5	226	10,2	10,9	0,7	84,1
00:24	225	9,5	244	10,5	12,2	0,6	82,6
00:26	323	9,5	319	3,3	16,2	0,7	86,0
00:28	339	9,5	332	3,0	17,4	7,0	86,3
00:30	250	9,5	238	9,4	11,5	0,6	84,7
00:32	227	9,5	216	12,1	8,8	0,8	80,8
00:34	325	9,6	318	3,8	16,7	2,8	86,6
00:36	332	9,6	323	3,3	18,0	4,9	86,5
00:38	340	9,7	285	4,4	18,5	3,9	87,2
00:40	235	9,7	224	10,5	10,2	0,6	83,7
00:42	275	9,7	284	7,2	11,1	0,3	84,8
00:44	333	9,7	328	1,7	18,7	5,6	87,3
00:46	264	9,6	273	6,2	16,2	2,6	86,1
00:48	248	9,6	234	10,2	10,8	0,6	83,8
00:50	290	9,6	285	7,5	11,0	0,4	84,2
00:52	320	9,7	315	2,8	17,7	7,9	86,6
00:54	337	9,7	330	1,3	19,6	19,7	87,5
00:56	239	9,8	229	10,0	10,9	1,2	84,4
00:58	385	9,9	289	6,3	12,4	0,7	84,3
01:00	327	9,9	326	1,5	16,9	4,8	87,9

LASKETUT SAVUKAASUHÄVIÖT HELMIKUUSSA

aika	K1 (diagrammi)	vapaa häviö	K2	sid.häviö	Sk-häviö
00:00	14,0	14,5	2,11	1,4	15,9
00:02	14,0	8,3		22,8	31,1
00:04	12,8	15,5		5,0	20,5
00:06	13,8	14,6		0,8	15,5
00:08	14,0	12,1		9,1	21,2
00:10	14,7	8,3		23,7	32,0
00:12	13,3	12,2		7,0	19,2
00:14	13,0	13,5		6,3	19,8
00:16	13,8	14,1		3,8	17,9
00:18	14,0	11,9		11,7	23,6
00:20	14,3	10,4		16,5	26,9
00:22	13,1	13,7		3,9	17,7
00:24	13,2	11,8		3,2	15,0
00:26	14,0	13,9		2,6	16,5
00:28	14,3	10,3		18,3	28,6
00:30	13,2	14,0		3,0	17,1
00:32	12,8	15,5		5,1	20,7
00:34	14,0	12,1		9,2	21,3
00:36	14,2	10,7		13,7	24,3
00:38	14,4	11,3		11,1	22,4
00:40	13,0	14,5		3,7	18,1
00:42	13,1	16,3		1,6	17,9
00:44	14,4	10,2		14,7	24,9
00:46	14,0	10,1		8,8	18,9
00:48	13,1	14,6		3,4	18,0
00:50	13,1	17,2		2,2	19,4
00:52	14,3	9,3		19,7	29,0
00:54	14,6	6,5		32,0	38,5
00:56	13,1	13,2		6,4	19,6
00:58	13,3	20,3		3,5	23,8
01:00	14,2	11,1		14,1	25,2
keskiarvo					21,9

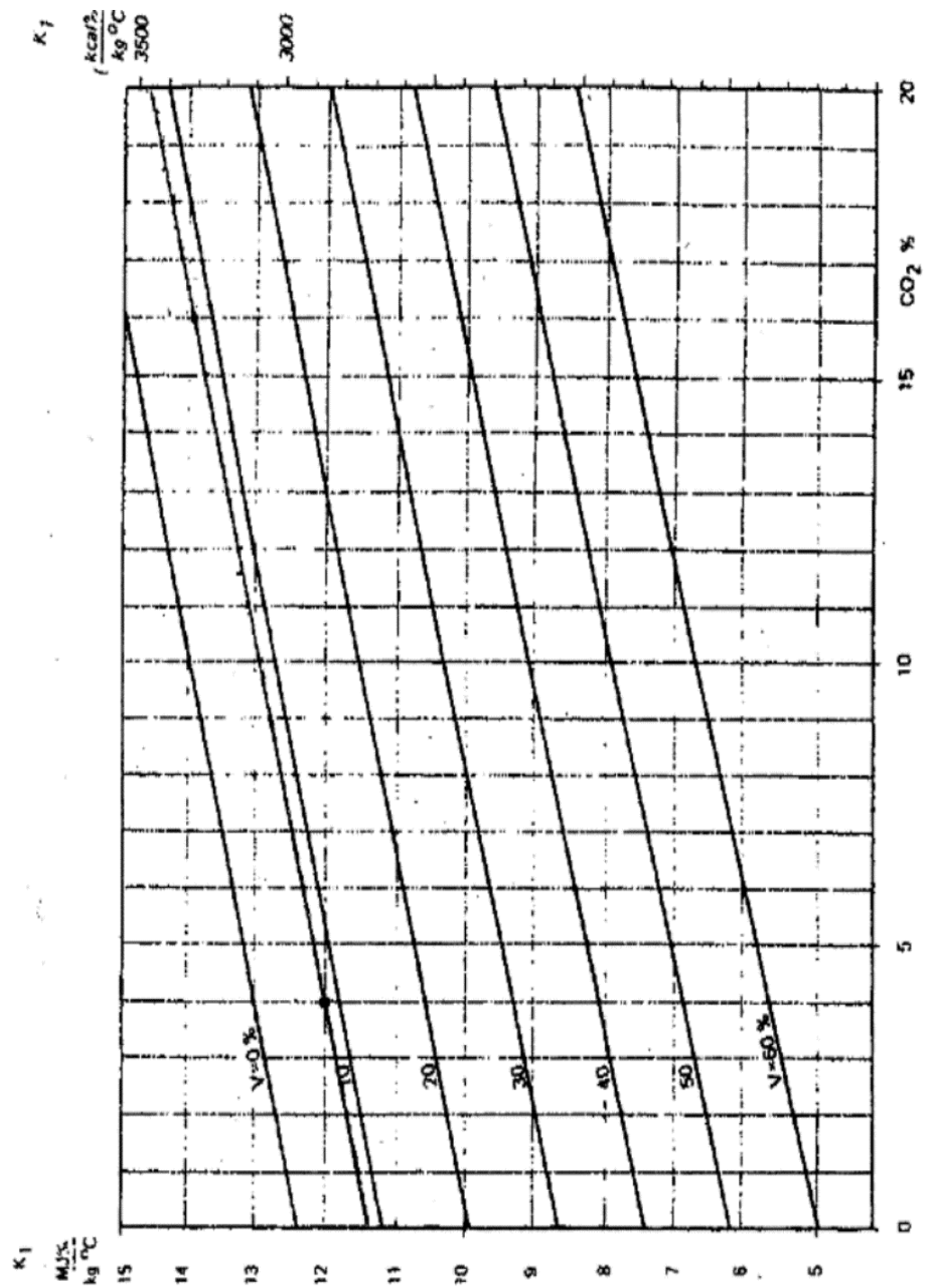
SAVUKAASUN MITATUT ARVOT HUHTIKUUSSA

aika	Tsk	Th	Tnetto	O ₂	CO ₂	CO	palamisen hyötysuhde / %
00:00	376	14,1	358	0,8	19,5	40,0	85,0
00:05	380	14,3	364	3,5	18,8	11,4	79,0
00:10	363	14,5	350	7,7	14,3	2,9	82,0
00:15	376	14,5	365	5,9	17,2	1,3	79,4
00:20	387	14,2	377	4,0	17,0	3,0	84,8
00:25	226	14,5	208	15,8	5,2	0,9	69,4
00:30	345	15,3	348	1,0	14,3	30,0	85,8
00:35	242	15,4	222	15,8	5,3	1,6	67,5
00:40	179	15,3	168	16,9	3,6	1,2	68,7
00:45	387	15,4	360	1,2	19,3	16,8	86,4
00:50	197	15,4	183	15,7	5,2	1,2	73,5
00:55	336	15,6	330	4,0	15,0	6,9	86,2
01:00							
01:05							
01:10							
01:15	190	14,2	177	16,3	5,1	0,6	75,3
01:20	375	14,2	370	1,8	19,3	9,3	84,4
01:25	207	14,7	194	14,9	6,0	1,0	75,9
01:30	322	16	317	8,2	13,0	0,32	80,7
01:35	364	17,2	354	8,2	14,2	0,39	77,1
01:40	80	18,3	67	18,7	2,2	1,3	75,7
01:45	325	19,1	320	8,0	0,3	0,3	82,4

LASKETUT SAVUKAASUHÄVIÖT HUHTIKUUSSA

aika	K1 (diagrammi)	vapaa häviö	K2 (diagrammi)	sid. Häviö		Sk-häviö
00:00	14,5	4,7	2,11	43,0		47,7
00:05	14,4	9,3		24,1		33,4
00:10	13,7	14,8		10,8		25,6
00:15	14,1	14,7		4,5		19,2
00:20	14,0	13,9		9,6		23,5
00:25	13,2	24,4		9,4		33,9
00:30	13,7	5,4		43,3		48,8
00:35	13,2	23,2		14,8		38,0
00:40	11,9	21,7		16,0		37,6
00:45	14,5	8,0		29,7		37,7
00:50	13,2	20,0		12,0		32,0
00:55	13,8	10,8		20,1		30,9
01:00						
01:05						
01:10						
01:15	13,2	21,7		6,7		28,5
01:20	14,5	9,8		20,8		30,5
01:25	12,3	18,1		9,1		27,2
01:30	13,4	16,4		1,5		18,0
01:35	13,7	17,4		1,7		19,1
01:40	11,8	11,1		23,7		34,8
01:45	11,4	310,5		32,0		342,4
				keskiarvo		31,5

Kerroin saadaan kuvasta, kun tiedetään polttoaineen kosteusprosentti V ja savukaasujen hiilidioksidipitoisuus.



SAVUKAASULASKUJEN KERROIN K_2

Kerroin saadaan kuvasta, kun tiedetään polttoaineen kosteusprosentti W .

